교육학박사학위논문

집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 연구

2019년 8월

서울대학교 대학원

수학교육과

정 혜 윤

집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 연구

지도교수 이 경 화

이 논문을 교육학박사 학위논문으로 제출함
2019년 8월

서울대학교 대학원
수학교육과
정 혜 윤

정혜윤의 박사 학위논문을 인준함
2019년 6월

위 원 장 ______________________ (인)

부위원장 ______________________ (인)

위 원 ______________________ (인)

위 원 ______________________ (인)

위 원 ______________________ (인)

국문초록

수학적 모델링 활동과 창의성에 대한 사회문화적 관점이 강조되고 있음에도, 사회문화적 관점에 근거한 수학적 모델링 활동과 창의성에 대한 구체적인 논의는 아직 이루어지지 못하였다. 특히, 수학적 모델링 활동을 위해 집단 구성과 집단 내 상호작용이 강조되고 있음에도, 수학적 모델링에 의한 교육적 효과는 그동안 개인에 초점을 둔 논의가 진행되어 왔다. 수학적 모델링에 의한 창의성 교육 역시 개인의 창의성에 초점을 두고 진행되었다.

본 연구에서는 사회문화적 관점에서 창의성과 수학적 모델링의 의미와 특징을 확인한 뒤, 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업을 설계하고 설계된 수업의 실행과정에서 발현되는 집단 창의성을 분석하고자 하였다. 연구 방법으로 개발 연구를 사용하여, 예비설계, 교수실험, 회고분석의 단계에 맞추어 수업을 설계 및 실행하였다.

예비설계 단계에서는 집단 창의성과 수학적 모델링에 대한 선행연구 분석을 통해 집단 창의성 발현 모델을 제시하고, 집단 창의성 교육을 위한 방안으로써 수학적 모델링의 특징을 확인하였다. 또한, 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리로 학생과 교사, 과제와 활동지, 수업 환경의 측면에서 총 여섯 가지 원리가 도출되었다. 이후 여섯 가지 원리를 토대로 수업을 설계한 뒤, 전문가 평가를 거쳐 설계된 수업을 수정하였다. 설계된 수업에는 수업설계안과 더불어 수학적 모델링 과제와 활동지, 집단 구성 및 역할분담을 위한 설문지, 교사지도안의 교수·학습 자료가 포함된다.

교수실험 단계에서는 예비설계 단계에서 설계된 수업을 실행하

였다. 초기 교수실험과 후기 교수실험으로 나누어 실행되었으며, 초기 교수실험에서는 예비설계 단계에서 설계된 수업의 반복적인 실행과 수정이 이루어졌다. 후기 교수실험에서는 초기 교수실험을 통해 수정된 수업을 실행하였으며, 수학적 모델링 활동 과정에서 발현되는 집단 창의성을 관찰하였다. 또한, 수학적 모델링의 단계와 집단별로 서로 다른 유형의 상호작용과 창의적 시너지가 관찰되었음을 확인하고, 그 원인을 살펴보았다. 특히, 확장된 집단 창의성이 발현된 사례와 그렇지 않은 사례를 각각 비교하여 확장된 집단 창의성 발현을 위해 요구되는 수업 설계 방안을 확인하였다. 확장된 집단 창의성이 발현된 집단의 경우, 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 모두 관찰되었으며, 상호작용을 유도하는 교사의 적절한 안내와 집단 구성원의 역할분담 수행이 잘 이루어짐을 확인할 수 있었다. 그렇지 않은 경우, 메타인지적 상호작용이 관찰되지 않았으며, 상호작용을 유도하는 교사의 안내와 구성원의 역할분담 수행이 잘 이루어지지 않았음을 확인할 수 있었다.

예비설계와 교수실험의 결과물을 토대로, 회고분석 단계에서는 예비설계에서 도출된 집단 창의성 교육을 위한 수업 설계의 원리를 수정하여 제시하였다. 반복적인 수업의 실행과 수정 과정에서 집단 창의성 교육을 위한 수업 설계의 원리 중 일부가 수정 및 추가되었다. 최종적으로 학생과 교사, 과제와 활동지, 수업 환경의 측면에서 총 일곱 가지 원리가 도출되었다.

본 연구를 통해 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리를 제시하고, 수학적 모델링 활동 과정에서 발현되는 집단 창의성을 확인할 수 있었다. 결론적으로, 집단 구성을 통한 모델링 활동 시 집단 내 사고가 진화해 나가는 과정을 보여주었으며, 수학적 모델링 수업의 교육적 효과를 집단 창의성 교육의 측면으로 확장하였다.

주요어 : 집단 창의성, 상호작용, 창의적 시너지, 수학적 모델링, 수업 설계

학　번 : 2016-33090

목 차

표 목 차

그 림 목 차

Ⅰ. 서론

수학적 모델링은 실세계 현상에 대한 탐구에서 출발하여 수학적 모델을 도출하고 이를 다시 실세계 현상에 적용하는 활동(English, 2006; Ferri & Lesh, 2013; Maaß, 2010; Stillman, Blum, & Kaiser, 2017)을 의미한다. 이와 같은 수학적 모델링 활동이 수학적 사고력과 탐구력 향상, 문제해결능력 향상 등의 긍정적인 교육적 효과를 지님은 여러 수학교육 연구자들(김민경, 2010; 이경화, 2016; 황혜정, 민아람, 2018; Ärlebäck, Doerr, & O'Neil, 2013; Blomhøj & Kjeldsen, 2006, 2013; Lesh & English, 2010; Middleton, Lesh, & Heger, 2003)에 의해 밝혀져 왔다. 특히, 최근에는 수학적 모델링 활동을 통한 수학적 창의성 향상 가능성을 이론적, 실증적 측면에서 검토하고 확인하는 연구(최경아, 2017; Chamberlin & Moon, 2005; Chan, 2008; Palsdottir & Sriraman, 2017)가 다수 이루어지면서, 수학적 모델링에서의 수학적 창의성 발현과 교육이 주목받고 있다.

하지만, 이들 선행연구에서 주목하고 있는 수학적 창의성이 모두 개인의 수학적 창의성이라는 점에서 아쉬움이 존재한다. 최근 노벨상의 공동수상과 팀 작업 문화의 확산 등으로 인해 집단 중심 활동의 필요성(Subtnik, Olszewski-Kubilius, & Worrell, 2011)이 높아지고 1990년대 이후 창의성에 대한 관점이 개인 심리적 관점에서 사회문화적 관점으로 이동(유경훈, 2015; Glăveanu, 2011; Zhou & Luo, 2012)하면서, 개인 창의성을 넘어 집단 창의성에 대한 관심과 연구의 필요성이 증가(Paulus & Nijstad, 2003; Sawyer, 2012)하고 있기 때문이다. 특히, 대부분의 선행연구(김민경, 홍지연, 김혜원, 2010; Galbraith & Stillman, 2006; Doerr & English, 2003; Kaiser, 2007; Lesh, Cramer, Doerr, Post, & Zawojewski, 2003; Vorhölter, 2018, 2019)에서 수학적 모델링 활동은 집단 구성에 기반하여 진행된다. 이들은 수학적 모델링을 사회문화적 관점으로 해석하면서, 집단 구성을 통한 수학적 모델링 활동의 필요성을 제시한다. 이와 같은 수학적 모델링 활동의 특징을 고려하면, 수학적 모델

링 활동 분석 시 개인을 넘어 집단에 초점을 둔 연구가 필요함을 알 수 있다. 정리하자면, 집단 창의성에 대한 관심과 연구의 필요성이 높아지고 있는 상황에서, 주로 집단 구성을 통해 수행되는 수학적 모델링 활동 역시 그 효과로서 집단 창의성 교육에 대한 논의가 필요하다.

이와 같은 맥락에서, 최근에 수행된 정혜윤, 이경화(2018)의 연구는 수학적 모델링 활동 시 발현되는 집단 창의성에 주목한 바 있다. 이들은 수학적 모델링 활동과정에서 나타나는 집단 창의성 발현 메커니즘으로서 집단 내 상호작용 및 창의적 시너지에 주목하였으며, 궁극적으로 수학적 모델링에 의한 집단 창의성 교육 가능성을 제시하였다. 다만, 해당 연구는 지속적인 연구를 위해 요구되는 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업의 설계와 자료 개발의 방향을 제시하지 않았다는 아쉬움을 갖는다. 또한, 해당 연구에서도 제언하였듯이, 제시된 연구는 고등학교 2학년 사례에 한정된바, 연구의 확장을 위해 다양한 학년과 다양한 학습 내용을 포함하는 추가 연구가 요구된다. 말하자면, 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계 방안과 다른 학년, 다른 학습 내용을 대상으로 하는 수학적 모델링에서의 집단 창의성 발현 사례에 대한 추가적인 논의가 요구된다.

본 연구는 위에서의 논의를 바탕으로, 수학적 모델링의 효과로서 집단 창의성 교육 가능성을 살펴보고자 한다. 나아가, 학교 수학에서 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업을 수행하는 데 방향을 제시할 수 있는 수업을 설계하고자 한다. 이때, 본 연구에서는 일반 학생들이 참여하는 일상 수업을 염두에 둔다. 그동안 수학적 모델링과 수학적 창의성에 대한 연구는 대부분 영재 학생을 대상으로 수행된 측면이 크다(이경화, 2015; Luria, Sriraman, & Kaufman, 2017). 이는 수학적 모델링과 수학적 창의성 교육이 갖는 어려움(박진형, 2017; 신현성, 2007; Blomhøj & Jensen, 2007; Blum & Ferri, 2009; Niss, 2003)에 기인한 것이기도 하다. 하지만 최근 우리나라(교육부, 2015)뿐 아니라 미국(CCSSI, 2010), 아이슬란드(Palsdottir & Sriraman, 2017, pp. 48-49), 중국(Ludwig & Xu, 2010), 폴란드와 싱가포르(김선희, 박경미, 이환철, 2015) 등 각 국의

교육과정에서 수학적 창의성과 함께 수학적 모델링을 강조하는 등 일반 학생들을 대상으로 한 수학적 창의성, 수학적 모델링 교육에 대한 요구가 높아지고 있다. 이는 집단 창의성 발현을 위한 수학적 모델링 수업 역시 일반 학생들을 대상으로 하는 일상 수업에서 수행될 것을 고려해야 함을 의미한다. 본 연구 역시 이에 대한 고려의 필요성을 받아들여, 일반 학생들을 대상으로 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업을 설계하고 설계된 수업의 실행과정에서 나타나는 수학적 모델링 활동에서의 집단 창의성 발현 모습을 확인하고자 한다.

한편, 본 연구에서 제시하고자 하는 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업의 설계와 실행에 대한 연구는 지금까지 보고된 연구에서 찾아보기 힘들다(조무정, 진석언, 2016). 이는 이론적 측면에서 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계 방안에 대한 체계적인 논의가 우선적으로 필요함을 의미한다. 이에 따라, 본 연구에서는 이론적 검토를 통한 수업 설계와 설계된 수업의 반복적인 실행을 통한 수업의 개선 방향을 제시하는 개발연구(정영옥, 2005)의 방법을 따르고자 한다.

위의 내용을 종합하여, 본 연구의 구체적인 연구목표는 '집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계 및 설계된 수업의 실행과정에서 발현되는 집단 창의성 분석'이다. 더불어, 연구목표를 위해 설정한 연구문제는 다음과 같다.

연구문제1. 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계 원리는 어떻게 되는가?

연구문제2. 수학적 모델링의 각 단계에서 어떠한 유형의 상호작용과 창의적 시너지가 발생하는가?[1)]

Ⅱ장에서는 집단 창의성과 수학적 모델링에 대한 문헌 분석을 수행한

---

1) Ⅱ장에서 논의하겠지만, 집단 창의성은 상호작용과 창의적 시너지를 내용 요소로 갖는다. 이에 따라 집단 창의성 발현과정에 대한 분석은 상호작용과 창의적 시너지에 대한 분석으로 볼 수 있다.

다. 이를 통해 집단 창의성의 의미와 집단 창의성 발현과정, 집단 창의성 발현에 영향을 미치는 요인 및 수학적 모델링의 의미와 집단 창의성 교육을 위한 방안으로써 수학적 모델링의 특징을 살펴본다. 이에 대한 논의는 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리와 수학적 모델링 활동의 각 단계에서 발생하는 집단 창의성을 이론적으로 추측하는 과정이 된다. Ⅲ장에서는 수업을 설계하고 실험하는 데 토대가 되는 개발 연구의 의미와 특징을 확인하고 수업의 설계와 실행을 위한 연구방법을 설계한다. Ⅳ장에서는 Ⅱ장에서 추측한 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리에 맞추어 자료를 개발하고 수업을 설계하는 과정과 결과를 제시한다. 개발된 자료는 수학적 모델링 과제, 학생들에게 제공되는 활동지, 집단 구성 및 역할분담을 위한 설문지, 교사에게 제공되는 교사지도안과 수업설계안이다. Ⅴ장에서는 Ⅳ장에서 설계한 수업과 개발 자료를 이용하여 실제로 수업을 수행한 과정과 결과를 제시한다. 반복적인 실행과 반성을 통해 Ⅳ장의 결과물이 개선되는 과정과 수학적 모델링 과정의 각 단계에서 발현된 집단 창의성을 보여준다. 이에 대한 논의는 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리와 수학적 모델링 활동의 각 단계에서 발현된 집단 창의성을 실제적으로 검증하는 과정이 된다. 마지막으로 Ⅵ장에서는 본 연구를 통해 도출된 결론과 후속 연구를 위한 제언을 제시한다.

Ⅱ. 이론적 배경

본 연구에서는 사회문화적 관점을 토대로 하여, 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리와 수학적 모델링의 각 단계에서 발현된 집단 창의성을 확인하고자 한다. 이를 위해, 이 장에서는 첫째, 사회문화적 구성주의의 의미를 확인한다. 둘째, 이론적 분석을 통해 집단 창의성의 의미와 집단 창의성 발현에 영향을 미치는 요인을 확인한다. 셋째, 집단 창의성 교육을 위한 방안으로써 수학적 모델링의 특징을 확인한다. 이론적 분석을 통해 제안한 집단 창의성 교육을 위한 수업 설계의 원리와 수학적 모델링 과정에서의 집단 창의성 발현 모습은 본 연구에서 수업을 설계하고 설계된 수업의 교수실험 결과를 분석하는 토대가 된다.

1. 교수·학습에 대한 사회문화적 관점

교수・학습에 대한 사회문화적 관점은 교수・학습을 사회적, 문화적인 활동으로 간주한다. 이때 사회적이라고 함은 다른 사람과의 관계를 의미한다(Zhou & Luo, 2012). 좀 더 구체적으로, 사회적 행동은 다른 사람의 행동에 대한 반응으로 볼 수 있다. 개인의 행동은 단독으로 존재하는 것이 아닌, 다른 사람의 행동에 연결되어 나타나는 것이다. 또한, 문화적이라고 함은 특정 규범과 믿음이 내재된 환경 속에서 나타나는 개인과 객체와의 관계를 의미한다.

교수・학습에 대한 사회문화적 관점은 그 철학적 토대를 비고츠키 사상에 둔다(Cobb, 1994; O'Loughlin, 1992; Zhou & Luo, 2012). 비고츠키에 따르면 교수・학습에 있어서 학생들의 공통 활동과 의사소통에 의한 그 활동의 공유가 본질적인 부분을 차지한다(유현주, 2000). 이에 따라, 사회문화적 관점에서는 사회문화적 맥락에서 발생하는 상호작용으로 인해 학습과 발달이 이루어진다고 본다(김주연, 2016, p. 42; 이종욱, 2002; Rojas-Drummond, Albarrán, & Littleton, 2008). 좀 더 구체적으로,

Rojas-Drummond et al(2008)과 이종욱(2002)은 교수・학습이 이루어지는 장소가 속한 환경의 문화적 맥락을 토대로, 학생 상호 간 혹은 학생과 교사 간 이루어지는 상호작용에 의해 교육이 이루어진다고 하였다. 또한, Cobb(1994)와 Zhou & Luo(2012) 등의 선행연구에서는 상호작용과 상호작용에의 참여가 교수・학습의 가장 기본적인 구성요소가 된다고 하였다.

위의 논의에 따르면, 사회문화적 관점은 학습과 발달에 있어 개인의 역할보다 사회문화적 환경의 역할을 더 강조한 것으로 보인다(강영심, 2000; Cobb, 1994). 선행연구(김주연, 2016; 박성선, 2001; Cobb & Yackel, 1995)에서도 강조하고 있듯이, 사회문화적 관점에서 상호작용이 이루어지는 공동체는 학습과 발달의 결정적인 요소가 되며, 이에 따라 공동체가 형성하는 환경이 중요하게 여겨지는 것이다. 종합하자면, 학급의 교수・학습 과정에서 나타나는 활동에 대한 분석은 학급이 존재하는 사회적, 문화적 맥락에 대한 고려와 학급 내에서 이루어지는 상호작용 자체에 대한 고려 모두에 의존하게 된다(이종욱, 2002; 조정수, 1999; Cobb, 1994; O'Loughlin, 1992).

그리고 이러한 관점에서, 지식과 의미는 상호작용의 결과물로서 '공동구성'된다(Rojas-Drummond et al, 2008). 의미는 의사소통을 통한 협의의 과정에서 생성되며, 지식은 집단 내 협동적인 활동에 참여함으로써 나타나는 사회적 과정을 통해 구성되는 것이다(박성선, 2001; 조정수, 1999; Kim, 2017; Rojas-Drummond et al, 2008). 다시 말해, 지식과 의미는 집단 활동의 결과물이므로, 교수・학습 과정에서 집단으로부터 개인을 분리하는 것은 어렵다(Zhou & Luo, 2012). 개인은 사회적 행동, 즉, 집단 활동 속에 나타나는 구성원으로서 존재하는 것이다(Cobb 1994). 이에 따라, 사회문화적 관점에서 교수・학습 과정에 대한 분석의 초점은 개인의 발달로부터 사회적 상호작용까지 포함하는 더 넓은 범위로 확장된다(박성선, 2001; Hwang, 2018).

위와 같은 의미의 사회문화적 관점에 따른 교수・학습방법은 개인보다 팀 중심의 방법을 강조하며, 구체적으로 또래 학습, 팀 기반학습의 형태

로 나타난다(심영숙, 김찬종, 최승언, 김희백, 유준희, 박현주 외, 2015; 전평국, 이진아, 2002; Hwang, 2018). 학생들이 공유된 과제를 중심으로 협동적으로 학습에 참여하게 되는 환경이 만들어지는 경우 지식구성이 이루어진다는 관점에 기반을 둘 때, 해당 환경을 만들기 위해 우선적으로 요구되는 것이 팀 구성인 것이다(Zhou & Luo, 2012). 학생들은 팀 기반학습에서 이루어지는 상호작용에 적극적으로 참여하면서 사회적 활동의 주체자로서 역할을 하게 되며(강영심, 2000), 팀 기반학습에서 이루어지는 학생들의 상호작용 과정 그 자체가 학습 활동으로 특징지어 진다(Cobb, 1994). 특히, 이때의 팀 기반학습은 전체의 과제달성을 위해 개인별 과제를 할당한 뒤 인위적으로 협력을 유도하는 협력 학습과는 차별화되는 것으로, 과제달성 과정에서 이루어지는 풍부하고 다양한 의사소통과 의사소통 과정에서 생성되는 수학적 의미의 형성에 초점을 둔다(조정수, 1999). 더불어, 이러한 교수・학습 상황에서 교사는 학생과 상호작용하면서 학생들의 협동적 학습을 이끌어야 한다. 구체적으로, 교사는 학생의 상호작용을 촉진하는 안내자, 중재자의 역할을 받아들여야 한다(이은화, 조순옥, 조화연, 강숙현, 김순환, 1998).

요약하자면, 사회문화적 관점에서 교수・학습은 학생들의 집단 구성과 집단 내 상호작용, 나아가 집단의 둘러싼 환경을 중요시하며, 집단 내 상호작용 과정을 지식과 의미를 구성하는 과정으로 본다. 아래에서는 이와 같은 관점을 토대로 하여, 사회문화적 관점에 근거한 창의성 연구와 수학적 모델링의 특징을 살펴본다.

2. 집단 창의성[2)]

이 절에서는 문헌 분석을 통해 첫째, 개인 창의성과 대비되는 사회문화적 관점에서의 집단 창의성의 의미를 살펴본다. 둘째, 집단 창의성의 의미를 확인한다. 세부적으로, 집단 창의성의 발현과정으로서 상호작용과

2) 이 절의 내용은 정혜윤, 이경화(2018, 2019a, 2019b, 2019c)의 일부를 요약, 보완한 것이다.

창의적 시너지의 유형을 제시하고, 일상 수업에서 집단 창의성의 의미를 확인한다. 셋째, 집단 창의성 발현에 영향을 미치는 요인을 확인한다. 넷째, 이들에 대한 논의를 종합하여 집단 창의성 발현 모델을 제시한다. 이와 같은 집단 창의성에 대한 논의는 다음 절에서 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리를 논의하는 데 토대가 된다.

2.1. 사회문화적 관점에 근거한 창의성 연구

창의성을 바라보는 관점에는 개인의 심리적, 인지적 특성에 초점을 두는 개인주의적 관점과 창의성이 발현되는 맥락과 과정에 초점을 두는 사회문화적 관점이 존재한다(Sawyer, 2012, p. 7). 그동안 창의성 연구는 주로 개인의 특성에 초점을 두었다(Glăveanu, 2011, p. 474). 사회문화적 관점에 근거한 창의성 연구는 상대적으로 간과되어 오다가, 1990년대 이후 2인 이상 공동 연구의 증가와 경영 분야에서 공동 작업에 대한 관심의 증가로 인해 주목받기 시작하였다(송인섭, 김혜숙, 1999, p. 94; Jeffrey & Craft, 2001; Sawyer, 2012, p. 232; Zhou & Luo, 2012, p. 392). 특히, Csikszentmihalyi(1999)가 창의성을 개인을 넘어 '개인, 분야, 영역'의 상호작용, 다시 말해 '개인의 경험, 사회체계, 문화'의 상호작용으로 간주한 이후, 창의성은 개인의 지적능력의 유형에서 점차 집단적이고 사회협동적인 의미를 지니게 되었다(왕치현, 문성란, 이현열, 2015, p. 294). 이는 창의성이 한 개인을 넘어 사회문화적 맥락에서 일어나는 상호작용으로 간주되기 시작했음을 의미한다(홍옥수, 송진웅, 2015, p. 123; Glăveanu, 2014, p. 177). 나아가 창의적 산출물 역시 개인의 산출물이 아닌 집단이 주체가 된 공동 창조물로 간주되기 시작했음을 의미한다(Glăveanu, 2018, p. 122).

창의성에 대한 개인주의적 접근은 창의성을 개인의 인지 구성 과정으로 본다(Cobb, 1994). 구체적으로, 개인주의적 관점에서 창의성의 정의는 연구자들마다 다양하고 복잡하게 제시되고 있지만(Mann, Charmberlin, & Graefe, 2017), 많은 연구자들(김명숙, 2001, p. 7; Hennessey &

Amabile, 1988, p. 13; James, 1995, p. 285; Sternberg, Grigorenko, & Singer, 2009, p. 98; Tan & Sriraman, 2017; Zhou, 2003, p. 413)은 창의성이 새롭고 유용한 산출물을 만들어 내는 능력이라는 데 동의한다. 이러한 창의성 연구의 배경에는 창의성이 개인의 내부적이며 다소 독립적인 특성이라는 전제가 자리 잡고 있다(왕치현 외, 2015, p. 287; Glăveanu, 2018). 이로 인해 개인주의적 관점에서 창의성 연구는 개인의 버릇, 동기, 행동에 대한 연구 및 개인이 보여주는 창의적 산출물의 특징, 평가에 대한 연구로 나타났다(Kurtzberg & Amabile, 2000-2001; Littleton, Rojas-Drummond, & Meill, 2008, p. 175; Singer & Voica, 2017). 나아가 한 개인에게서 창의성이 발현될 때 어떤 심리적 요소들을 내포하며 그것이 어떻게 반영되는지에 대한 연구와 창의성 강화를 위한 방안에 대해 파악하는 연구로 이어졌다(왕치현 외, 2015; Davis, Rimm, & Siegle, 2011, pp. 205-241; Hersh & John-Steiner, 2017; Sternberg et al., 2009, p. 59). 하지만 이러한 관점에 대해, Littleton et al(2008, p. 175)은 생산자로서 한 개인에 초점을 둔 연구가 오늘날의 사회에서 관찰되는 사회성과 역동성을 갖는 과정으로서의 창의성을 반영하지 못한다는 점을 지적하였다.

창의성을 창의적인 개인의 특징으로 보는 개인주의적 관점과 달리, 사회문화적 관점에서 창의성은 사회적, 집단적 행위와 깊은 관련이 있는 것으로, 환경적 요소와 또래와의 접촉 등 환경에서 주어지는 자극에 영향을 받는다고 여겨진다(왕치현 외, 2015; Tan & Sriraman, 2017). 직접적으로, 사회문화적 관점은 개인의 내부 상태에서 창의성을 발견하는 것을 거부하며(Glăveanu, 2018, p. 119), 창의성이 발현되는 집단과 집단 내 상호작용에 초점을 둔다(Cobb, 1994; Sawyer, 2012, 2014). 개인이 아닌 집단 내 협력의 맥락에서 창의성이 발현된다고 보는 것인데, 이에 따르면 창의성은 상호작용에 내재되어 있으며(Glăveanu, 2011, p. 475), 타인과의 상호작용은 창의성을 이끌어내는 핵심요인이 된다(Kim & Song, 2012; Nijstad & Paulus, 2003). 말하자면, 집단 구성원들의 상호작용 과정에서 창의성이 발생한다는 것인데, 이로 인해 사회문화적 관점에서는

개인이 아닌 집단 내에서 이루어지는 상호작용의 맥락과 과정, 즉 집단의 역동성이 분석 대상이 된다(Sawyer, 2012, p. 32). 집단 내 상호작용을 분석함으로써 상호작용에 관계되는 변수 간의 관계와 상호작용을 통한 집단의 발전 과정을 살펴보는 것이다(Sawyer, 2012, p. 233). 다음 절에서는 집단 창의성의 구체적인 의미를 살펴본다.

2.2. 집단 창의성의 의미

사회문화적 관점에서는 창의성을 개인 창의성과 대비되는 집단 창의성으로 명명하며, 창의성 연구의 초점을 개인 창의성보다 집단 창의성에 둔다(Paulus, 2003; Sawyer, 2012; Zhou & Luo, 2012). 이때, 개인의 인지적, 심리적 특성 변화를 분석 단위로 하는 개인 창의성과 달리, 집단 창의성은 집단 구성원 사이의 관계에 초점을 두면서 집단의 창의성 발현 과정과 맥락을 분석 단위로 한다(Glăveanu, 2014, p. 166).

2.2.1. 집단 창의성의 의미

집단 창의성의 개념은 연구자들에 따라 다양하게 정의되지만, 집단 창의성에 관한 여러 선행연구(김부미, 2018, 2019; 김영채, 2007; 유경훈, 2015; Paulus, 2000; Sawyer, 2012; Woodman, Sawyer, & Griffin, 1993; Zhou & Luo, 2012)를 분석하면, 공통적으로 집단 구성원의 상호작용 속에서 개인이 할 수 있는 것보다 뛰어난 산출을 해내는 집단 수준의 창의적 시너지를 갖는 것이 핵심이 됨을 알 수 있다. 이때, 집단 창의성 발현 메커니즘으로서 집단 내 상호작용이란 서로의 정보를 교환하고 발전시켜 나가는 과정으로, 사회적 맥락에서의 검증과 구성원들의 합의를 포함한다(Paulus, 2000; Paulus & Nijstad, 2003, pp. 5-6; Zhou & Luo, 2012). 또한, 창의적 시너지란 상호작용 과정과 그 결과에서 나타나는 개인보다 뛰어난 집단 수준의 창의적 문제해결능력 혹은 지식의 구성으로, 상호작용 과정과 결과의 두 측면에서 나타나는 효과를 모두 포함한다(김선연,

2017; Pakeltienė & Ragauskaitė, 2017).

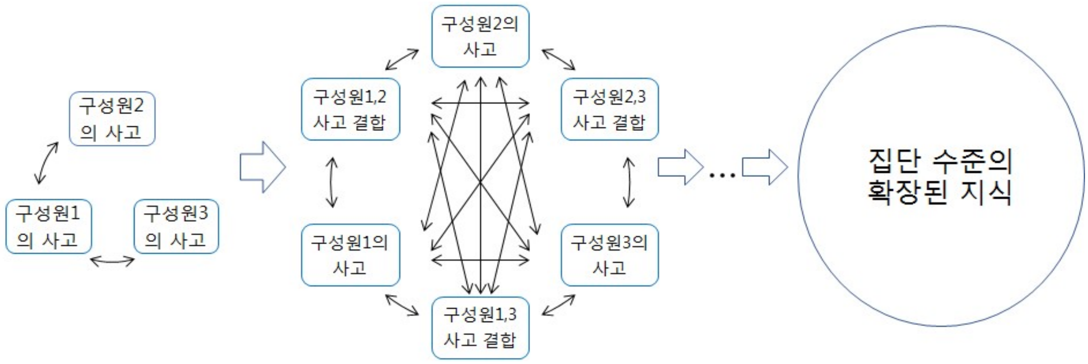
위와 같은 논의는 집단 창의성이 개인 창의성의 단순 합 이상의 효과를 가짐을 의미한다(김선연, 2017, p. 178; Sawyer, 2012, pp. 32, 246; Woodman et al, 1993; Zhou & Luo, 2012). 마치 눈덩이가 불어나듯이, 집단 내 다른 구성원들과 상호작용 하는 과정에서 특정 사고가 그룹 내로 퍼져나가는 집단 내 상호작용을 통해 개인 능력의 합 이상의 집단 창의성이 발현될 수 있다는 것이다. 본 연구 역시 이와 같은 선행연구의 관점을 받아들여, 집단 창의성을 다음과 같이 정의한다.

집단 창의성이란, 집단 내 구성원들에 의해 제시된 사고가 상호작용을 통해 집단 내에서 공유 및 변환되면서 창의적 시너지를 갖게 되는 과정 또는 그 결과물을 의미한다.

위의 집단 창의성의 개념, 특히, 집단 창의성을 구성하는 상호작용과 창의적 시너지는 개인 창의성과 차별화되는 집단 창의성의 존재성과 그 특징을 보여준다. 김현진, 설현도(2014)와 Woodman et al(1993) 역시 집단 창의성이 개인 창의성을 필요로 하기는 하나 집단 구성원 간의 상호작용에 따라 그 결과가 서로 다르게 형성될 수 있으므로 개인 창의성과는 차별화됨을 제시하였다. 상호작용 과정에서 나타나는 구성원들의 정보 수집과 검증 등은 그 방식에 따라 서로 다른 창의적 시너지를 발생시킴으로써 집단 창의성 발현에 기여하게 된다는 것이다(성지현, 이종희, 2017a; Levenson, 2011; Suh, Matson, & Seshaiyer, 2017). 또한, 개인 창의성 관련 연구에서 집단의 구성과 집단 내 상호작용을 개인 창의성에 영향을 미치는 요소의 측면으로 보고 개인 창의성 발현을 위한 선택적 투입 요소로 간주하였다면(James, 2015), 집단 창의성에서는 개인을 자원으로 간주하며 집단 내 상호작용을 창의성 발현과정에서 나타나는 필수 요소로 여긴다(Zhou & Luo, 2012).

위의 논의를 종합하여 집단 창의성 발현과정을 그림으로 나타내면 아래의 [그림 Ⅱ-1]과 같다. [그림 Ⅱ-1]에서 구성원의 사고 사이에 있는

양방향 화살표는 구성원 간의 상호작용을 의미한다. 그리고 구성원 세 명의 사고가 삼각형 모양에서 원 모양으로 확장되는 과정은 다음의 설명과 같이 창의적 시너지가 발생했음을 의미한다.



[그림 Ⅱ-1] 집단 창의성 발현과정

먼저, 구성원 중 한 명(구성원1)의 의견이 제시되면 다른 구성원들(구성원2와 구성원 3)이 반응함으로써 구성원들 간의 상호작용을 통한 사고의 공유가 이루어진다(Baruah & Paulus, 2009, p. 35). 사고의 공유를 통해 사고가 결합되기도 하고 변환되기도 하는데, 그 결과물(구성원 1, 2의 사고 결합 등)에 대한 지속적인 상호작용을 통해 새로운 사고가 다시 공유되는 과정에서 창의적 시너지가 나타나게 된다(Levenson, 2011, pp. 221-233). 다시 말해, 집단 창의성 발현과정에서 나타나는 상호작용은 집단의 구성원이 집단 내에 존재하는 단순한 응답자로서의 개인이 아닌 적극적인 참여자로서 역할을 하는 상호작용이며, 집단 내 사고가 점점 확장되는 창의적 시너지가 발생하는 상호작용이다. 집단 내 한 구성원이 제안한 사고가 그에 대해 검토하는 또 다른 구성원의 사고를 통해 더욱 확장되는 것이다. [그림 Ⅱ-1]의 마지막에 제시된 원은 이와 같은 과정을 거쳐서 생성된 집단 수준의 확장된 지식을 의미한다.

[그림 Ⅱ-1]에서 확인할 수 있는 집단 창의성 발현과정은, 집단 창의성 발현을 위해서는 집단 내 개인이 아닌 집단 수준에서 지식을 확장하고 구조화해야 함을 의미하는 것이기도 하다(Kurtzberg & Amabile,

2000-2001). 다시 말해, 집단의 활동은 집단 구성원 개개인의 무의미한 행동이 아닌, 하나의 공동 목표를 보유한 집단 구성원들의 인지 자원을 적극적으로 활용하는 방향으로 이루어지는 것이 바람직하다고 할 수 있다(Climer, 2016; Kurtzberg & Amabile, 2000-2001, p. 287).

2.2.2. 집단 창의성 발현을 위한 세 가지 유형의 상호작용

앞에서의 논의로부터 집단 창의성 발현과정이 곧 집단 내 상호작용 과정으로 나타나며, 나아가 구성원 간의 상호작용에 따라 집단 창의성 발현 결과가 달라짐을 알 수 있다. 집단 창의성 발현과정과 그 결과를 확인하기 위해서는 집단 내 상호작용 과정을 살펴보는 것이 필요한 것이다. 하지만 Sawyer(2012, pp. 243-244)가 지적하였듯이, 지금까지의 선행연구는 실제 집단 창의성 발현과정에서 나타나는 상호작용에 대한 논의를 적극적으로 수행하지 못하였으며, 이로 인해 집단 창의성 발현과정을 명확히 확인하지 못했다는 한계를 지닌다. 여기에서는 이론적 검토를 통해 집단 창의성 발현과정으로서 세 가지 유형의 상호작용을 제시한다. 이들 세 가지 유형의 상호작용은 향후 집단 창의성 발현을 위한 수업을 설계하고 학생들의 실제 상호작용 과정을 분석하는 틀이 된다.

집단 창의성을 논의한 여러 선행연구(성지현, 이종희, 2017a; 정혜윤, 이경화, 2018; Kurtzberg & Amabile, 2000-2001; Nemeth, Brown, & Rogers, 2001; Nemeth & Nemeth-Brown, 2003; Paulus & Nijstad, 2003; Paulus & Yang, 2000; Sawyer, 2012)를 토대로, 집단 창의성 발현과정에서 나타나는 집단 내 상호작용의 유형은 상호작용 과정에서 나타나는 사고 변환의 방향과 집단의 발전 과정에 따라 상호보완적 상호작용, 갈등 기반 상호작용, 메타인지적 상호작용으로 유형화할 수 있다. 먼저, 상호보완적 상호작용은 집단 내 다양성을 이끌어내기 위한 상호작용으로, 집단 구성원의 다양성에 근거한 인지적 사고의 다양성을 집단 내에서 누적적으로 공유하는 과정을 의미한다. 수집된 사고는 집단 내에 공유되는데, 집단 창의성을 논의한 대부분의 선행연구(조무정, 진석언,

2016; Milliken, Bartel, & Kurtzberg, 2003, p. 34; Nemeth et al., 2001; Nijstad, Diehl, & Stroebe, 2003, pp. 148-151; Paulus & Nijstad, 2003, p. 6)는 집단 내 다양성에 기반을 둔 지식공유를 가장 중요한 조건으로 보았다. 집단 내 사고의 다양성은 곧 집단의 풍부한 자원을 의미하는 것으로, 자원으로 간주되는 개인의 다양한 지식과 역량 등이 결합됨으로써 개인의 사고 수준을 뛰어넘는 집단 수준의 창의적 시너지 발생에 기여한다고 본 것이다(Kurtzberg & Amabile, 2000-2001). Zhou & Luo(2012) 역시 집단 창의성 발현을 위해선 지식 구성의 과정과 같이 개인의 암묵지가 집단으로 외재화되는 과정, 즉 구성원의 사고가 공유되는 상호보완적 상호작용이 우선적으로 필요함을 주장하였다. Paulus(2000)와 Paulus & Brown(2003, p. 126)은 집단 내 상호보완적 상호작용의 중요성을 강조하기 위하여 브레인스토밍과 같이 집단 내 다양한 지식공유를 높일 수 있는 방안을 제시하기도 하였다.

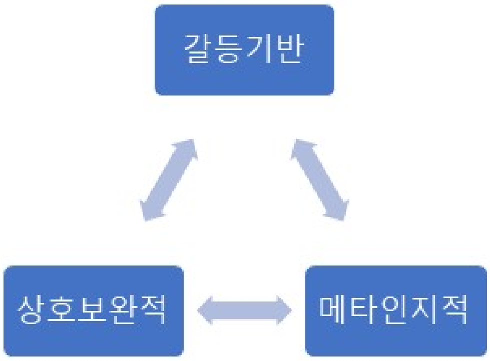
다음으로, 갈등 기반 상호작용이란 기존의 견해와 불일치하거나 대치되는 견해로 인해 갈등이 유발되는 과정으로, 집단 내 사고의 다양성으로 인해 발생하는 반대 견해의 존재를 드러낸다. 집단 내 상호보완적 상호작용의 필요성을 강조한 여러 연구(James, 1995, p. 289; Kurtzberg & Amabile, 2000-2001, pp. 290-292; Sawyer, 2012, p. 234; Zhou & Luo, 2012)에서는 갈등 기반 상호작용을 함께 강조한다. 특히, 사고의 다양성 자체가 사고의 재결합 등을 통한 발산적 사고를 제공할 수도 있지만, 갈등을 통해 다양한 관점을 활용하게 함으로써 창의성을 발현시킬 수 있다고 보았다. 더불어, 다른 관점을 지닌 반대 의견은 집단 내 사고의 한계를 깨트리고 추가적인 창의적 활동을 자극함으로써 집단 내 사고의 다양성을 강화할 수 있으므로(Milliken et al., 2003, p. 35; Nemeth, Personnaz, Personnaz, & Goncalo, 2004, p. 367), 이러한 다양한 관점을 활용하지 못한다면 집단 내 추가적인 창의적 활동을 자극하지 못한다는 것이다(성지현, 이종희, 2017b). 이와 같은 선행연구에서의 논의를 종합하면, 집단 내 사고의 다양성으로부터 유도되는 갈등 기반 상호작용은 집단 내 다양한 관점 활용을 통해 사고의 한계를 극복하고 다시 집단 내

사고의 다양성을 유도하는 데 기여함으로써 집단 창의성 발현에 기여하게 됨을 알 수 있다.

마지막으로, 메타인지적 상호작용이란 위의 두 가지 상호작용 과정에서 나타난 집단 내 사고의 다양성과 갈등을 집단의 공동 평가 및 반성과 같은 비판적 사고를 통해 공유된 사고 사이에 새로운 관계가 발견되거나 연결되는 과정을 의미한다. Milliken et al(2003, p. 34)에 따르면, 메타인지적 상호작용은 상호보완적 상호작용과 갈등 기반 상호작용에 의해 공유된 지식의 다양성과 갈등으로부터 창의적 시너지를 발현시키기 위해 요구되는 상호작용이다. 집단 내 사고의 다양성과 갈등을 조정 및 검증함으로써 집단 내 사고 공유의 폭을 넓혀주며 나아가 집단 창의성 발현에 기여하게 된다는 것이다. 예를 들어, 성지현, 이종희(2017b)는 집단 구성원들이 지닌 다양한 관점을 이용하지 못하고 다른 사람의 아이디어를 비판적으로 바라보지 못한다면 집단 창의성이 발현되기 어렵다고 보았다. 이신영, 김찬종, 최승언, 유준희, 박현주, 강은희, 김희백(2012) 역시 비판적 검토에 기반을 둔 상호작용이 배제되는 경우 새로운 모델에 대한 모색이 수행되지 않음으로써 한 개인에 의해 제시된 모델이 정체될 수 있음을 제시하였다. 나아가, Glăveanu(2014)는 타인과의 상호작용을 통해 차이점을 조정해 나가는 관점의 이동이 사회문화적 관점에 근거한 집단 창의성의 핵심이라고 하였다.

이상의 논의를 토대로 집단 창의성 발현과정을 정리하면, 집단 창의성 발현과정은 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용의 반복적인 발생을 통한 집단 맥락에서의 정보 수집과 공유 및 검증의 과정이라고 할 수 있다. 이때, 이들 세 가지 유형의 상호작용이 발생하는 과정은 비선형적 과정이며, 동시적, 순환적으로 연결되어 나타난다([그림 Ⅱ-2] 참고). 예컨대, 상호보완적 상호작용을 통한 사고의 다양성 자체가 집단 내 사고를 확장할 수도 있지만, 갈등이 나타나는 갈등 기반 상호작용을 유발하여 다양한 관점을 이끌어냄으로써 집단 내 사고를 확장하는 집단 창의성을 발현시킬 수 있다(Kurtzberg & Amabile, 2000-2001). 실제로, 집단 창의성 발현과정을 관찰한 정혜윤, 이경화(2018)는 상호보완적, 갈등 기

반, 메타인지적 상호작용이 순환적으로 연결된 상태로 발생함을 확인하였다.



[그림 Ⅱ-2] 세 가지 유형의 상호작용의 순환적 발생

세 가지 유형으로 제시된 집단 내 상호작용은 궁극적으로 집단 구성원이 지닌 다양한 관점의 사고를 이끌어내고 집단 수준에서 공유될 수 있도록 한다. 즉, 상호작용 과정은 지식공유 과정으로서, 지식공유를 통해 집단 창의성 발현에 기여한다(Baruah & Paulus, 2009, p. 38). 이때의 지식공유는 창의적 시너지를 일으키는 원천으로, 집단 창의성 발현을 위해서는 지식공유가 반드시 이루어져야 한다(조무정, 진석언, 2016; Paulus, 2000; Paulus & Nijstad, 2003). 지식공유를 통해 개인이 보유한 지식을 집단 전반에 공유함으로써 지식의 이용과 응용 가능성을 극대화하여 집단의 능력을 강화시킬 수 있기 때문이다(Grant, 1996). 이와 같은 선행연구에서의 논의는, 집단 창의성 발현을 위해서는 개인이 아닌 집단 수준에서 서로의 정보가 수집, 교환되고 발전돼야 함을 강조하는 것이기도 하다. 다음 절에서는 상호작용에서의 지식공유 과정에서 나타나는 창의적 시너지의 의미와 내용요소를 확인한다.

2.2.3. 창의적 시너지의 의미와 내용요소

김선연(2017)이 지적한 바 있듯이, 창의적 시너지의 정확한 의미를 제

시한 선행연구는 찾아보기 힘들다. 이에 따라 창의적 시너지의 정확한 정의에 대한 합의 역시 이루어지지 못한 채 연구자들에 따라 다양하게 정의되고 있는데, 여러 연구자들(김선연, 2017; Baruah & Paulus, 2009; Kurtzberg & Amabile, 2000-2001; Leadbeater, 2008)은 창의적 시너지를 역동적인 집단이 지닌 창의성의 확장 가능성으로 간주한다. Leadbeater(2008), Baruah & Paulus(2009, pp. 30-32)가 상호작용 과정에서 나타나는 정보의 교환, 발전, 합의, 검증이 창의적 시너지를 발생시킴으로써 집단 창의성 발현에 기여한다고 하였듯이, 집단 구성원의 상호작용 속에서 개인이 할 수 있는 것보다 뛰어난 산출을 해내는 집단 수준의 사고의 구성을 창의적 시너지라고 할 수 있으며, 이러한 창의적 시너지가 나타날 때 집단 창의성이 발현되었다고 보는 것이다. 이는 집단 창의성이 단순히 개인의 창의적 사고능력의 합이 아님을 강조하는 선행연구(Bissola & Imperatori, 2011; Pakeltienė & Ragauskaitė, 2017)와 그 맥락을 같이 한다. 더불어, 창의적 시너지의 이와 같은 의미는 집단 창의성의 필요성을 보여주는 것이기도 하다.

좀 더 구체적으로, 김선연(2017)은 창의적 시너지를 개인의 문제해결보다 집단의 문제해결이 더 효과적이라는 집단의 효과성, 그리고 집단 구성원들의 상호작용 과정 속에서 형성되는 집단 수준의 지식이라는 두 가지 의미로 제시한 바 있다. 나아가, 전문가 델파이 연구를 통해 창의적 시너지라고 판단할 수 있는 총 15개의 내용 요소를 제시하였다(김선연, 2017, p. 96). 이에 따르면, 창의적 시너지에는 새로운 아이디어 수 증가, 내용을 바라보는 관점의 수 증가, 최종 결과물 평가점수 향상, 문제해결의 가능성 향상, 문제해결에 대한 긍정적 태도 강화, 결과물의 가치 또는 질 향상, 결과물의 완성도 향상, 문제해결 결과에 대한 만족도 향상, 내용에 대한 이해력 향상, 문제해결에 요구되는 시간, 노력, 비용 감소, 심적 부담감 감소, 시행착오 감소, 해결된 결과물에 대한 오류의 수 감소가 포함된다.

김선연(2017)이 창의적 시너지의 내용 요소를 구체적으로 제시하였다면, 성지현, 이종희(2017b)는 Levenson(2011)의 연구를 토대로 집단 창의

성 발현과정에서 나타나는 사고 변환 과정과 결과의 특징을 집단 독창성, 집단 유창성, 집단 융통성, 집단 정교성의 네 가지로 범주화하여 제시하였다. 비록, 성지현, 이종희(2017b)와 Levenson(2011)이 집단 독창성, 집단 유창성 등을 창의적 시너지의 내용 요소로 명시적으로 제시하지는 않았지만, 이들이 제시한 정의를 살펴보면, 집단 내 한 구성원의 사고를 토대로 다른 구성원이 사고를 생성하는 과정에서 사고가 확장되는 모습을 그 특징에 따라 분류한 것을 알 수 있다. 더불어, '집단 구성원의 상호작용 속에서 개인이 할 수 있는 것보다 뛰어난 산출을 해내는 집단 수준의 사고의 구성'을 창의적 시너지라 할 때, 집단 독창성, 집단 유창성 등이 창의적 시너지 내용의 특징적인 모습을 나타낸다고 판단할 수 있다. 집단 창의성을 연구한 또 다른 연구자인 Baruah & Paulus(2009, p. 35) 역시 구체적인 내용 요소를 명시하지는 않았으나, 창의적인 상호작용 과정을 통해 집단 내 사고가 확장되며 그 중에서 일부는 정교화되거나, 결합 혹은 통합된 결과물을 내놓게 된다고 주장하였다. 이는 Levenson(2011)과 성지현, 이종희(2017b)가 제시한 집단 유창성과 집단 정교성, 집단 융통성 및 집단 독창성의 의미와 일치한다. Paulus(2000) 또한 집단 내 사회적 과정을 통해 확산되는 끝없는 아이디어가 집단 창의성이라고 하였는데, 이는 집단 유창성의 의미와 일치한다. 나아가, Kurtzberg & Amabile(2000-2001)는 개인 창의성의 특징인 융통성을 집단으로 확장하여 집단 융통성 개념을 제안하였다. 정리하자면, 창의적 시너지는 집단의 사고가 확장되는 모습의 특징에 따라 집단 유창성, 집단 융통성, 집단 독창성, 집단 정교성의 네 가지 내용 요소로 범주화할 수 있다.

이때, 집단 유창성이란 같은 문제에 대해 많은 해결방안을 생성하는 것으로 집단 내 문제해결 공간의 확장을 의미한다(성지현, 이종희, 2017b, p. 507). 집단 융통성이란 집단 구성원들이 함께 다양한 수학적 성질이나 표현에 근거한 다양한 해결방안을 산출하고자 시도하면서 한 사람이 생성한 것을 보고 다른 사람이 아이디어를 생성하는 집단의 과정을 의미한다(성지현, 이종희, 2017b, p. 507). 이는 구성원이 제시한 관점

에 대해 다른 구성원이 다른 방향의 관점을 제시하는 집단 내 역동적인 과정으로 볼 수 있다(Levenson, 2011, p. 230). 집단 독창성이란 이전에 산출된 다른 구성원의 아이디어에 기초하여 다른 독창적인 아이디어를 산출하는 것을 의미한다(성지현, 이종희, 2017b, p. 507). 이때, 이전에 산출된 구성원의 아이디어는 독창적일 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다. 이에 대해 Levenson(2011, p. 225)은 기존의 아이디어가 독창적인 경우에는 해당 아이디어를 계속 발전시켜 나감으로써, 독창적이지 않은 경우에는 비판적 사고를 통해 관습적인 사고에 대항함으로써 집단 독창성을 이끌어낼 수 있다고 하였다. 마지막으로 집단 정교성이란 집단 내 비판적이고 면밀한 검토를 통해 적절한 아이디어를 선택하거나 보다 좋게 만드는 것을 의미한다(성지현, 이종희, 2017b, p. 507).

각 내용 요소의 의미에서도 확인할 수 있듯이, 이들 창의적 시너지의 내용 요소와 관련하여 Levenson(2011, p. 229)은 집단 내 '다른 구성원의 사고에 기반을 두고 또 다른 구성원의 사고가 확장, 발전되어 나가는 과정'이 핵심임을 강조하였다. 집단 창의성 자체가 과정과 결과물 모두를 아우르듯이, 집단 창의성을 구성하는 창의적 시너지의 내용 요소인 집단 유창성과 집단 독창성 등도 각각이 발현되는 과정과 결과가 분리될 수 없는 것이다. 예를 들어, Levenson(2011, p. 222)이 제시한 다음의 사례[3]는 개인의 유창성과 구별되는 집단 유창성을 보여준다.

Tom : 0.18 곱하기 0.1이요.
Tad : 안 돼.
교사 : 왜 안 되니?
Mark : 답이 0.018이에요.
Gad : 0.18 곱하기 1이요.
Ben : 1 곱하기 0.18이요.
교사 : 곱셈의 교환법칙이네요. Ben의 답은 Gad와 다른 답이에요.

3) 해당 사례는 초등학교 6학년을 대상으로 '곱해서 0.18이 되는 두 수'를 찾는 문제가 진행된 집단 활동의 한 장면이다.

Toby : 18 곱하기 0.1?
다른 학생들 모두 : 18 곱하기 0.01.

위의 사례는 Tom이 제시한 의견이 집단 내 논의를 촉발하면서 진행된 상호작용 과정을 보여준다. Tom이 처음에 제시한 의견(0.18 곱하기 0.1)이 틀리긴 하지만 과제 해결의 아이디어를 제공하게 되었고, 다른 학생들이 Tom의 아이디어를 따라가면서 추가 의견(0.18 곱하기 1, 1 곱하기 0.18, 18 곱하기 0.01)을 제시하였다. 즉, 집단 내 다양한 해결방안이 수집되면서 집단 내 문제해결 공간이 확장되는 집단 유창성이 나타났다. 이는 다른 구성원이 제시한 아이디어를 어떻게 활용하는지 보여주는 사례로, 집단이 공동 목표를 가진 하나의 주체가 되어 공동 목표를 해결해 가는 과정을 보여준다.

위에서의 논의를 토대로, 본 연구에서는 Levenson(2011)가 성지현, 이종희(2017b)를 비롯한 여러 선행연구(Baruah & Paulus, 2009; Kurtzberg & Amabile, 2000-2001; Paulus, 2000)에서 확인할 수 있는 집단 유창성, 집단 융통성, 집단 독창성, 집단 정교성을 창의적 시너지의 내용 요소로 둔다. 그리고 김선연(2017)의 연구결과를 이들 네 가지 내용 요소에 맞추어 다음과 같이 제시한다. 먼저, 김선연(2017)이 제시한 창의적 시너지 내용 요소 중 새로운 아이디어 수 증가는 같은 문제에 대한 새롭고도 많은 해결방안을 생성하게 하는 것과 연결된다. 이때, 독창적인 새로운 아이디어 자체는 Levenson(2011)과 성지현, 이종희(2017b)가 제시한 집단 독창성에 해당한다. 더불어, 아이디어의 수가 증가했다는 점은 집단 내 문제해결 공간의 확장을 의미하므로 집단 유창성에 해당한다. 다음으로, 내용을 바라보는 관점의 수 증가는 문제에 대한 많은 해결방안을 생성함과 동시에 다양한 수학적 성질이나 표현에 근거한 다양한 해결방안을 산출할 수 있는 시도를 제공하는 것과 연결되므로 집단 유창성과 집단 융통성에 모두 해당한다. 또한, 문제해결의 가능성 향상, 결과물의 가치 또는 질 향상, 결과물의 완성도 향상, 내용에 대한 이해력 향상, 해결된 결과물에 대한 오류의 수 감소는 집단 내 검토를 통해 적절한 아이디어를

선택하고 좋게 다듬어나가는 것과 연결되므로 집단 정교성에 해당한다.

요약하자면, 창의적 시너지는 역동적인 집단의 집단 내 지식의 확장 가능성이라는 의미를 지닌다. 그리고 집단 내 지식의 확장 가능성을 확인할 수 있는 창의적 시너지의 내용 요소는 위에서의 논의와 같다. 이들은 집단 활동에 대한 관찰을 통해 확인 가능하다는 측면에서 창의적 시너지의 평가 요소로도 볼 수 있다. 이에 따라, 본 연구에서는 창의적 시너지가 발생했음을 확인하기 위한 창의적 시너지의 조작적 정의를 다음과 같이 제시한다.

창의적 시너지는 집단 유창성, 집단 융통성, 집단 독창성, 집단 정교성의 내용 요소로 구성된다. 이때, 집단 유창성은 집단 내 새로운 아이디어 수 증가와 내용을 바라보는 관점의 수 증가로, 집단 융통성은 내용을 바라보는 관점의 수 증가로, 집단 정교성은 문제해결의 가능성 향상, 결과물의 가치 또는 질 향상, 결과물의 완성도 향상, 내용에 대한 이해력 향상, 해결된 결과물에 대한 오류의 수 감소로, 집단 독창성은 집단 내 새로운 아이디어의 발생으로 각각 구성된다.

2.2.4. 집단 창의성 발현과정으로서 세 가지 유형의 상호작용과 창의적 시너지

앞에서의 논의를 종합하면, 집단 내 구성원들 간의 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용 과정에서 집단 유창성, 집단 융통성, 집단 독창성, 집단 정교성 등의 창의적 시너지가 발생할 때 집단 창의성이 발현되었다고 할 수 있다. 즉, 세 가지 유형의 상호작용(상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용)과 네 가지 유형의 창의적 시너지(집단 유창성, 집단 융통성, 집단 독창성, 집단 정교성)는 집단 창의성의 구성요소가 된다. 이는 개인 창의성의 구성요소로 유창성, 융통성, 독창성, 정교성이 제시되는 것(김은혜, 박만구, 2011; 이경화, 2015; Mann et al., 2017;

Silver, 1997)과 차별화된다. 예를 들어, 개인 창의성이 창의적 산출물의 유창성이나 독창성에 주목한다면, 집단 창의성은 어떤 상호작용을 통해 집단 유창성이나 집단 독창성 등을 갖게 되었느냐에 함께 주목한다. 이와 관련하여, 선행연구에서는 각 유형의 상호작용이 나타나는 과정에서 발생할 것으로 기대되는 주된 창의적 시너지를 다음과 같이 보여준다.

먼저, 여러 선행연구(성지현, 이종희, 2017b; Baruah & Paulus, 2009; Milliken et al., 2003; Sawyer, 2012)에서는 상호보완적 상호작용을 통해 집단 유창성이 발생할 수 있음을 보여준다. 상호보완적 상호작용은 집단 내 사고의 다양성을 이끌어내기 위한 상호작용인바, 사고의 누적적인 공유를 통해 집단 내에 공유되는 아이디어가 확장될 수 있다(Baruah & Paulus, 2009, p. 35). 이는 새로운 아이디어 수의 증가, 즉 문제에 대해 많은 해결방안을 생성하는 집단 유창성의 발생으로 연결될 수 있다. 특히, 성지현, 이종희(2017b, pp. 512-514)는 아이디어가 수집되는 상호보완적 상호작용 과정에서 모둠 구성원들이 서로를 자극함으로써 확산적으로 아이디어를 탐색하게 되고, 궁극적으로 개인이 할 수 있는 것보다 높은 수준의 산출을 해내는 집단 유창성이 발생할 수 있음을 보여주었다.

다음으로, 갈등 기반 상호작용은 기존의 견해와 불일치하거나 대치되는 견해로 인해 갈등이 유발되는 과정으로, 갈등을 통해 다양한 관점의 활용이 가능하다(Carnevale & Probst, 1998, p. 1301; Kurtzberg & Amabile, 2000-2001, pp. 290-292; Sawyer, 2012, p. 234). 이에 대해 Kurtzberg & Amabile(2000-2001, pp. 291-292)는 갈등이 집단 구성원들의 다양한 관점을 자극하게 되는데, 집단 내 다양한 관점이 자극됨으로써 집단 창의성이 향상되는 것을 집단 융통성이 발현된 것으로 보았다. 나아가 Guilford가 제시한 융통성의 개념을 집단으로 확장시킬 수 있음을 제안하였다. 또한, Nemeth et al(2004)과 Paulus(2000, pp. 246-247)는 갈등이 사고의 전환과 함께 사고의 확장을 이끈다고 하였다. 이는 곧 갈등으로 인한 내용을 바라보는 관점의 수 증가가 집단 융통성과 함께 집단 유창성의 발생으로도 연결될 수 있음을 보여준다.

마지막으로, 메타인지적 상호작용은 집단 내 사고에 대한 공동 반성

및 검토가 이루어지는 과정으로, 공동 반성을 통해 결과물의 질과 완성도를 향상시키고 오류를 감소시키는 등 결과물 자체에 대한 완성도를 높이는데 기여할 뿐 아니라 문제해결의 가능성과 내용에 대한 이해력을 향상시키는 데 기여할 수 있다. 즉, 집단 정교성의 발생으로 연결될 수 있다. 또한, 메타인지적 상호작용은 공유된 사고 사이에 새로운 관계의 발견 혹은 연결을 유도하는데, 이는 메타인지적 상호작용이 집단의 독창적인 아이디어인 집단 독창성으로 연결될 수 있음을 보여준다. 성지현, 이종희(2017b) 역시 지식을 연결하거나 변형하는 과정에서 집단 정교성과 집단 독창성이 발생할 수 있음을 제시하였다.

지금까지의 논의를 토대로 각 유형의 상호작용으로부터 유도될 것이라고 기대되는 주된 창의적 시너지의 내용 요소는 <표 Ⅱ-1>과 같다.

<표 Ⅱ-1> 상호작용 유형별 기대되는 주된 창의적 시너지

상호작용 유형	창의적 시너지
상호보완적 상호작용	집단 유창성
갈등 기반 상호작용	집단 유창성, 집단 융통성
메타인지적 상호작용	집단 정교성, 집단 독창성

한편, 앞에서 살펴보았듯이, 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용은 순환적, 동시적으로 발생한다([그림 Ⅱ-2] 참고). 이는 상호보완적 상호작용에서 주로 발생할 것으로 기대되는 집단 유창성, 갈등 기반 상호작용에서 주로 발생할 것으로 기대되는 집단 융통성과 집단 유창성, 그리고 메타인지적 상호작용에서 주로 발생할 것으로 기대되는 집단 정교성과 집단 독창성 역시 순환적, 동시적으로 발생할 수 있음을 의미한다. 실제로, 집단의 창의적 시너지 발현을 논의한 Levenson(2011, p. 222)의 연구결과에서는 집단이 수학 문제를 해결하는 과정에서 구성원들의 다양한 의견이 수집[4]되는 집단 유창성이 나타남과 동시에 다양한 의견 가운데 서로 다른 의견이 대치[5]되는 과정에서 집단 융통성이 나타남

4) 이는 본 연구에서 유형화한 상호작용 중 상호보완적 상호작용에 해당한다.
5) 이는 본 연구에서 유형화한 상호작용 중 갈등 기반 상호작용에 해당한다.

을 확인할 수 있다.

위의 세 가지 유형의 상호작용 중 하나의 상호작용만으로도 창의적 시너지가 발생하고, 궁극적으로 집단 창의성이 발현될 수 있다. 예컨대, 상호보완적 상호작용을 통해 집단 내 사고가 누적되었다면, 사고의 누적으로 인한 집단 내 사고의 확장을 집단 유창성이라는 창의적 시너지로 볼 수 있으며 집단 창의성이 발현됐다고 할 수 있다. 다만, 정혜윤, 이경화(2018) 등의 선행연구에 따르면, 상호보완적 상호작용으로 수집된 사고가 갈등 기반 상호작용을 거쳐 메타인지적 상호작용을 통해 연결, 발전될 때 더욱 확장된 집단 창의성이 발현될 수 있다. 집단 유창성만 발생한 경우보다 네 가지 유형의 창의적 시너지가 모두 발생한 경우 더욱 확장된 집단 창의성이 발현된다는 것이다. 이와 관련하여, Nijstad & Paulus(2003, p. 329)와 성지현, 이종희(2017b) 역시 상호보완적 상호작용만을 통한 사고의 수집은 집단이 지닌 장점을 살리지 못한다고 평하였다.

2.3. 일상 수업에서의 집단 창의성

Kaufman & Beghetto(2009)는 4C 모델을 통해 창의성을 네 가지 수준(big-c, pro-c, little-c, mini-c)으로 제시함으로써, 수준에 따라 창의성을 다른 차원으로 볼 수 있는 폭넓은 관점을 제공하였다. 이때, 전 분야의 연구 방향을 재설정하는 전설적인 업적과 관련된 창의성인 big-c와 해당 분야의 새롭고 의미 있는 행동 혹은 산출물을 제시하는 전문가와 관련된 창의성인 pro-c가 주로 사회에서 평가된다면, 개인의 창의적인 잠재력을 알아보려고 시도하는 평가는 little-c와 mini-c에 해당한다(Mann et al., p. 61). 특히, ‘경험, 행동 및 사건에 대한 개인적으로 의미 있고 새로운 해석’으로 정의되는 mini-c는 높은 수준의 창의적 산출물을 요구하지 않으며 산출물 자체보다 산출물 도출과정을 중요시한다는 특징을 갖는다(Beghetto & Kaufman, 2007, pp. 73, 76).

이에 따라, 여러 연구자들(Beghetto & Kaufman, 2007, 2014; Mann et al., 2017; Palsdottir & Sriraman, 2017)은 일상 수업에서의 창의성을 mini-c의 소박한 관점으로 바라보는 입장을 취한다. mini-c가 초점을 두는 경험, 행동, 사태에 대한 참신하고 개인적으로 의미 있는 해석(Beghetto & Kaufman, 2007, pp. 76-77)은 학습 과정에서 종종 발생하는 것이기 때문이다(Beghetto & Kaufman, 2014, p. 293). 또한, mini-c가 견지하는 입장인 창의성의 계발 가능성은 학생들의 창의적 잠재력과 관련이 있다고 볼 수 있는데, 이러한 관점에서 일상 수업에서의 창의성은 교육을 통해 학생들의 창의적 잠재력을 이끌어낼 수 있다고 보는 mini-c로 해석하는 것이 타당하다고 볼 수 있다(Beghetto, 2016; Beghetto & Schreiber, 2017).

일상 수업에서의 집단 창의성 역시 mini-c의 관점으로 해석할 수 있다. 왕치현 외(2015)는 이경화(2011)의 연구를 인용하여, 집단 창의성 관점에서 창의성이 사회협동적인 과정의 의미를 가지며 개발 가능한 것으로 간주된다고 하였다. 이는 창의성의 과정과 잠재력을 중요시한다는 측면에서, mini-c의 관점으로 해석할 수 있다. 창의성의 4C 모델을 제안한 Beghetto & Kaufman(2014, p. 293) 또한 mini-c가 사회문화적 관점을 반영한다는 주장을 하면서, 교실에서의 mini-c 발현사례 제시와 함께 집단 창의성을 언급하였다. 교실 내 집단 구성을 통해 mini-c 발현을 유도하면서, 산출물을 도출하는 집단 과정에서 많은 도전감을 경험하게 될 뿐 아니라 집단 창의성이 독려되거나 안내될 수 있다는 것이다(Richards, 2014, p. 345). 즉, 개인 창의성의 계발 가능성을 인정하듯이, 집단 창의성도 계발 가능하다는 입장을 취한다. 또한, 집단 창의성이 개인보다 뛰어난 수준의 산출물 구성을 의미할지라도, 그 수준이 전문가 이상의 수준을 의미하는 것은 아님을 보여준다. mini-c가 집단 내 산출물 도출과정을 중요시한다는 점 역시, mini-c를 창의성 발현과정을 중시하는 집단 창의성의 관점으로 해석할 수 있음을 뒷받침한다.

위의 논의는 mini-c의 관점으로 일상 수업에서의 집단 창의성을 바라볼 수 있으며, 일상 수업에서의 집단 창의성이 mini-c로 해석되어야 함을 보여준다. 본 연구는 이와 같은 관점에서 집단 창의성을 논의한다.

즉, 일상 수업을 통해 학생들의 집단 창의성 계발이 가능하다는 입장에서, 일반 학급의 집단 창의성 발현을 위한 수학적 모델링 수업을 설계하고 수학적 모델링 활동과정에서 발현되는 집단 창의성을 논하고자 한다.

2.4. 집단 창의성 발현에 영향을 미치는 요인

앞에서 집단 창의성이 집단 내 상호작용에 내재되어 있으며(Glăveanu, 2011, p. 475), 집단 창의성 발현을 위한 상호작용을 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용으로 나누어 볼 수 있음을 확인하였다. 이는 집단 창의성 발현에 영향을 미치는 요인을 확인하기 위해서는 위의 세 가지 유형의 상호작용 발생에 영향을 미치는 요인에 대한 확인이 필요함을 의미하는 것이기도 하다. 집단 창의성과 관련한 대부분의 선행연구 역시 집단 창의성 발현에 영향을 미치는 요인을 상호작용과 관련지어 제시하고 있다(Choi & Thompson, 2005; Woodman et al., 1993; Zhou & Luo, 2012). 즉, 집단 창의성 발현을 위해서는 아래에서 제시하는 요인들이 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용을 유발하는 방향으로 작용해야 한다.

집단 창의성 발현에 영향을 미치는 주요 요인은 크게 집단 외적 요인이라고 할 수 있는 환경적 요인과 집단 내적 요인이라고 할 수 있는 집단 구성원 요인으로 나누어볼 수 있다. 먼저, 환경적 요인은 자유로운 토론 환경을 의미하는 것으로, 이를 위해서는 사고를 공유하는 데 편안하고 개방적 분위기가 필요하다(Kurtzberg & Amabile, 2000-2001, p. 287; Luria et al., 2017). 선행연구(김영채, 2007; Nemeth et al., 2004, p. 367; Sawyer, 2012; Siau, 1995)에서는 이를 위한 방안으로 브레인스토밍 혹은 브레인 라이팅[6]을 제안하기도 한다. 다만, 몇몇 선행연구(성지현, 이종희, 2017b; Nijstad et al., 2003, pp. 139-140)에서는 브레인스토밍을 하는 경우에도 구성원이 말할 수 있는 시간이나 기회가 부족하여 사고 공

6) 브레인스토밍은 떠오르는 모든 아이디어를 평가 없이 자유롭게 이야기하는 활동을, 브레인 라이팅은 필기하는 활동을 의미한다(김영채, 2007, p. 17).

유가 힘들 수 있다는 점을 지적한다. 브레인 라이팅은 이에 대한 대안이 될 수 있으며, 브레인 라이팅 결과를 집단 내 공유하는 것이 필요하다(김영채, 2007, p. 21; Paulus, 2000, p. 245).

집단 구성원 요인은 집단 내 구성원의 다양성을 의미한다. 집단 구성원이 지닌 자원, 관점, 지식 등과 관련한 인지적 다양성과 다양성에 대한 구성원들의 태도가 집단 내 상호작용, 나아가 집단 창의성에 영향을 미친다는 것이다(김영채, 2007, p. 18; Kim & Song, 2012; Kurtzberg & Amabile, 2000-2001, p. 286). 이는 구성원들이 동일한 관점을 소유한 동질적인 집단에 비해 서로 다른 관점을 지닌 이질적인 집단의 구성이 집단 창의성 발현에 더 효과적임을 의미한다(Sawyer, 2007). 서로 다른 관점을 지닌 집단의 구성원들이 추가적인 창의적 활동을 자극할 수 있기 때문이다(성지현, 이종희, 2017b, p. 508). 즉, 이질적인 집단의 구성 자체가 아닌 이질적인 집단 내 서로 다른 관점의 공유가 집단 창의성 발현에 영향을 미치는데, 이와 관련하여 조무정, 진석언(2016)과 Paulus(2000)는 집단 구성원 개개인의 역량보다 지식공유 자체가 더 중요함을 언급하며, 지식공유가 이루어질 수 있는 구성원들의 태도 요인의 중요성을 강조하였다. 더불어, Chiu(2008) 등의 선행연구에서는 학습 수준의 차이가 클 경우, 오히려 상호작용이 발생하기 힘들 수 있다고 언급하였다. 이는 구성원 간 학습 수준의 차이가 큰 경우 학습 수준이 높은 학생의 뜻에 따라 집단의 활동이 결정될 수 있음을 우려한 것으로 볼 수 있다. 실제로, 정혜윤, 이경화(2018)의 연구에서 관찰된 비 상호작용 사례를 살펴보면, 비 상호작용이 나타난 집단의 구성원 간 학습 수준의 차이가 컸음을 확인할 수 있다. 이에 따라, 구성원의 인지적 다양성 고려 시, 학습 수준의 다양성보다 구성원의 사고방식과 수학적 문제해결 경험의 다양성 등을 고려하는 것이 요구된다. 몇몇 선행연구(김영채, 2007; 조무정, 진석언, 2016; Nemeth & Nemeth-Brown, 2003, pp. 75-76)에서는 이를 위한 방안으로 역할분담[7]을 제안하기도 한다.

---

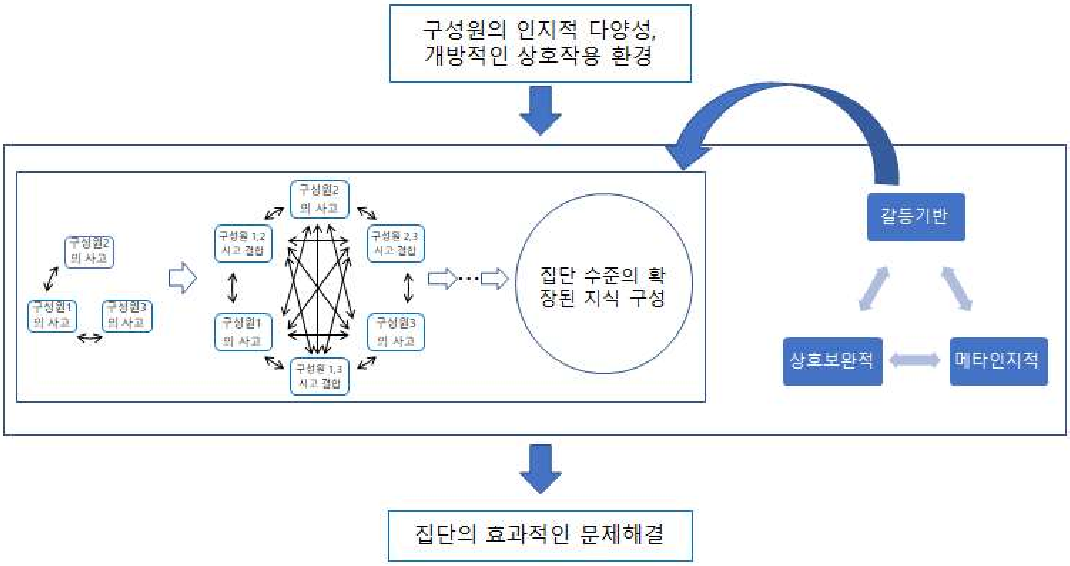
7) 역할분담은 집단 구성원들에게 각각의 사회적 역할을 분담하는 것이다. 예컨대, 각각의 구성원들에게 긍정적인 추가 의견제시자, 부정적인 의견제시자, 비판

인지적 다양성을 보유한 구성원들에 의한 상호보완적 상호작용은 집단 내 다양한 사고를 공유하게 하며, 집단 내 다양한 사고의 공유는 집단 구성원 간 인지적 자극을 제공한다(Baruah & Paulus, 2009; Paulus, 2000). 동시에 다양한 사고 간의 갈등을 유발함으로써 갈등 기반 상호작용을 일으키고(김영채, 2007, p. 12), 나아가 제시된 사고들을 검증하게 함으로써 메타인지적 상호작용을 일으킬 수 있다. 이 과정에서 다른 개인이 혼자 생각해보지 못한 범주의 사고를 하는 창의적 시너지를 유발하는 것이다(Csikszentmihalyi & Sawyer, 1995; Paulus & Yang, 2000).

2.5. 집단 창의성 발현 모델

지금까지의 논의를 토대로 집단 창의성 발현 모델을 제시하면 [그림 Ⅱ-3]과 같다. [그림 Ⅱ-3]의 모델은 투입 요소로서 집단 창의성 발현에 영향을 미치는 요인, 집단 창의성 발현과정으로서 세 가지 유형의 상호작용, 그리고 과정 측면에서의 창의적 시너지라고 할 수 있는 집단 내 상호작용 과정에서의 집단 수준의 확장된 지식 구성, 결과 측면에서의 창의적 시너지라고 할 수 있는 집단의 효과적인 문제해결을 포함한다. 말하자면, [그림 Ⅱ-3]의 모델로부터, 집단 창의성은 집단 내적 요인인 구성원의 인지적 다양성을 바탕으로 집단 외적 요인인 개방적 상호작용 환경 속에서 발현되며, 구성원들에 의해 제시된 사고가 동시적, 순환적으로 발생하는 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용을 통해 집단 내에서 공유되어 가는 과정 또는 그 결과에서 변환을 거쳐 창의적 시너지를 갖게 된 결과물이라고 할 수 있다.

자의 역할을 부여하는 방법이 있을 수 있다(정혜윤, 이경화, 2018, p. 385).



[그림 Ⅱ-3] 집단 창의성 발현 모델

[그림 Ⅱ-3]의 모델은 앞에서 제시한 [그림 Ⅱ-1]과 [그림 Ⅱ-2]를 결합한 것이기도 하다. 순환하는 세 가지 유형의 상호작용([그림 Ⅱ-2]에 해당)으로부터 집단 내 사고가 확장되어 가는 과정([그림 Ⅱ-1]에 해당)으로 향하는 화살표는, 집단 내 사고가 공유되는 과정에서 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 동시적, 순환적으로 발생함으로써 집단 수준의 지식이 확장되는 창의적 시너지를 유도한다는 의미를 지닌다.

[그림 Ⅱ-3]에 제시된 모델은 다음의 측면에서 기존의 집단 창의성 모델과 차별화된다. 먼저, 개인 창의성과 차별화되는 집단 창의성의 내용 요소, 즉 상호작용과 창의적 시너지에 초점을 둔 측면은 주로 개인의 기여를 중심으로 개인 창의성과 집단 창의성의 연결성을 제시한 성지현, 이종희(2017a), Paulus & Nijstad(2003)의 집단 창의성 발현과정 모델과 차별화된다. 또한, 과정으로서 세 가지 유형의 상호작용과 함께 창의적 시너지 발생을 구체적으로 제시하고 강조했다는 점에서, 집단 창의성에서의 투입과 산출 측면을 강조한 Siau(1995)의 모델과 차별화된다.

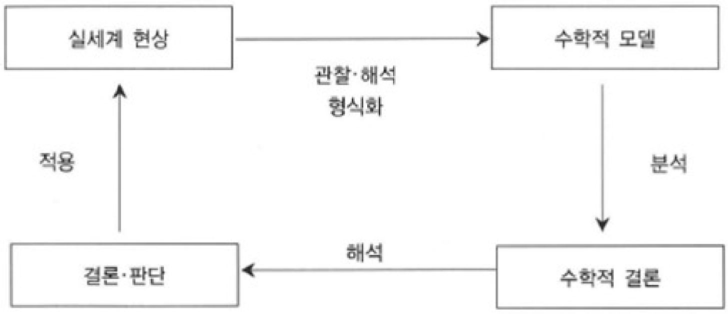
3. 수학적 모델링과 집단 창의성

여기에서는 첫째, 수학적 모델링의 의미를 명확히 한다. 수학적 모델링의 경우 연구자에 따라 실세계 탐구로부터 최종 모델 산출에 이르기까지의 과정이 다양하게 제시된다. 본 연구에서는 일반 학생들의 일상 수업에서 집단 창의성을 발현시키고자 하는 연구의 목적에 비추어, 일반 학생들을 대상으로 일상 수업에 적용 가능하며 집단 창의성 발현과정으로서 상호작용의 의미가 반영된 수학적 모델링 모델을 모색하도록 한다. 둘째, 수학적 모델링 활동의 사회문화적 특성을 확인함으로써 집단 구성을 통한 수학적 모델링 활동의 가능성을 검토한다. 셋째, 앞의 절에서 논의한 집단 창의성의 의미에 비추어, 집단 창의성 교육을 위한 방안으로써 수학적 모델링의 특징을 확인한다. 이에 대한 이론적 검토는 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업을 설계하는 토대가 된다.

3.1. 수학적 모델링의 의미[8)]

수학적 모델링에 대한 관점은 수학교육 연구자마다 다양하며, 이로 인해 정확한 하나의 뜻은 존재하지 않는다(Lesh & Doerr, 2012, pp. 361-362). 다만, 여러 연구자들(김민경, 홍지연, 김은경, 2009; 황혜정, 나귀수, 최승현, 박경미, 임재훈, 서동엽, 2013; Doerr, 2007; Doerr & English, 2003; English, 2006; Galbraith & Stillman, 2006; Kaiser & Stender, 2013; Palsdottir & Sriraman, 2017; Verschaffel, Greer, & De Corte, 2002)은 수학적 모델링이 실세계 현상을 수학적으로 해석하는 활동이며, 해당 활동을 위해 '실세계 탐구로부터 수학적 모델을 도출하고 실세계에 적용한 뒤 최종 모델의 산출'에 이르기까지 여러 단계로 구성된 문제해결 과정이라는 데 의견을 같이 한다([그림 Ⅱ-4] 참고).

8) 이 절의 내용은 정혜윤, 이경화, 백도현, 정진호, 임경석(2018)의 일부를 수정, 보완한 것이다.

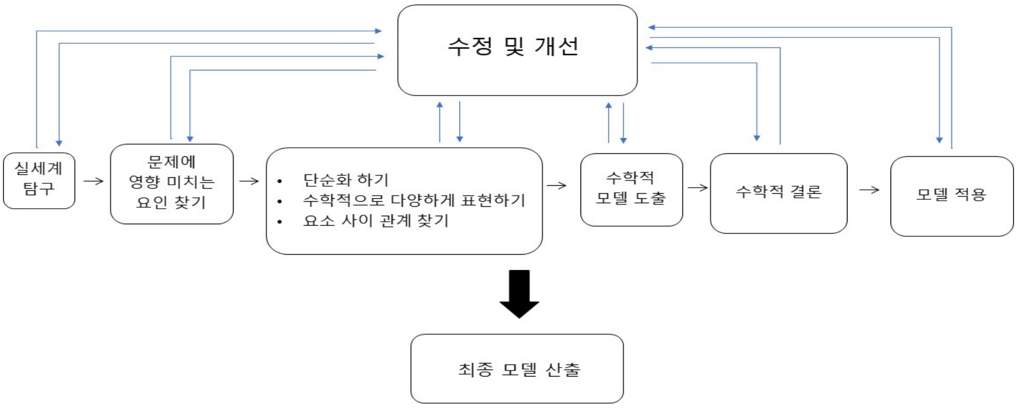


[그림 Ⅱ-4] 수학적 모델링 과정(Swetz & Hartzler, 1991)

위의 [그림 Ⅱ-4]에서 알 수 있듯이, 수학적 모델링 활동은 실세계 탐구로부터 수학적 모델을 도출하는 활동에서 시작하며, 수학적 모델 도출은 모델링 과정의 핵심이 된다. 그러나 이는 학생들이 수학적 모델링 활동 시 가장 어려움을 겪는 활동 중 하나(박진형, 2017; Blomhøj & Jensen, 2007; Galbraith & Stillman, 2006)로, 관련 연구(박진형, 2017; 신현성, 2007)에 따르면 많은 학생이 수학적 모델 도출 자체를 힘들어하는 것으로 나타났다. 실제로, 이러한 과정은 높은 인지적 노력 수준을 필요로 하며(Blum & Ferri, 2009), 현실 상황을 이해하고 해석하고 추론하고 수학적 문제해결 전략을 적용하는 것과 같은 수학적 역량의 뒷받침을 요구한다(Niss, 2003). 이경화(2016)가 지적한 바 있듯이, 그동안 수학적 모델링 활동 연구가 주로 영재 학생들 위주로 진행된 데에는 이러한 어려움이 영향을 미쳤다고도 볼 수 있다.

학생들이 수학적 모델을 도출하는 과정에서 겪은 어려움을 지원하기 위해, 여러 선행연구(김민경 외, 2010; 김선희, 김기연, 2004; 박진형, 2017; 서지희, 윤종국, 이광호, 2013; Galbraith & Stillman, 2006; Gravemeijer, 1999; Lesh et al., 2003)에서는 실세계 탐구에서 수학적 모델에 이르는 과정에서 문제 상황을 단순화하거나 다양한 수학적 표현을 사용할 것을 제안하는 등 수학적 모델 도출을 위한 세부 단계가 필요함을 제안한다. 정혜윤 외(2018) 역시 위와 같은 관점에서 일반 학생들의 수학적 모델링 활동을 지원하기 위해, 수학적 모델링 과정, 특히 실세계 탐구에서 수학적 모델을 도출하기까지의 과정이 세분화된 단계로 제시될

필요가 있음을 주장하면서, 수학적 모델링 과정을 [그림 Ⅱ-5]와 같이 제시하였다. [그림 Ⅱ-5]는 실세계 탐구로부터 수학적 모델 도출까지의 과정에 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계와 단순화하기, 수학적으로 다양하게 표현하기, 요소 사이 관계 찾기 단계라는 두 단계를 추가한 수학적 모델링 과정을 보여준다.[9] 본 연구에서는 일반 학생들을 대상으로 일상 수업 시간에 이루어지는 수학적 모델링 활동에서의 집단 창의성 발현을 분석하려는 바, 일반 학생들의 수학적 모델링 활동을 지원하기 위한 정혜윤 외(2018)에서 제시한 수학적 모델링의 관점을 따르고자 한다.



[그림 Ⅱ-5] 수학적 모델링 과정(정혜윤 외, 2018, p. 155)

[그림 Ⅱ-5]의 수학적 모델링 과정은 실세계 탐구에서 수학적 모델 도출에 이르는 과정이 세분화된 단계로 구성되었을 뿐 아니라, 각 단계가 반복, 순환적인 과정으로 구성되었다. 이와 관련하여, 정혜윤 외(2018)는 최근 연구에서 모델링 과정을 반복적, 순환적인 과정으로 보는 관점이 부각되고 있음을 강조한다. 각 단계는 필요에 따라 반복, 순환하는 과정을 거치게 되는데, 수학적 모델링 활동 시 수정 및 개선의 기회를 제공함으로써 학생들 스스로 실세계 상황에 맞는 적절한 수학적 모델을 찾을 수 있도록 한다는 것이다(박진형, 이경화, 2014; 신은주, 이종희, 2004a;

9) 정혜윤 외(2018)는 단순화하기, 수학적으로 다양하게 표현하기, 요소 사이 관계 찾기를 하나의 단계로 제시하였는데, 이는 세 가지 활동이 순서와 관계없이 발생할 수 있음을 의미한다.

Galbraith & Stillman, 2006; Lesh & Doerr, 2003). 이는 반복적인 모델링 과정을 통해 모델의 안정성과 정교성을 높이고, 나아가 학생들의 사고력을 향상시키기 위함이기도 하다(손홍찬, 류희찬, 2005; 정혜윤 외, 2018; Ärlebäck et al., 2013). 박진형, 이경화(2014)와 신은주, 이종희(2004b)는 이와 같은 반복, 순환을 통한 모델링 활동을 메타인지적 활동으로 보았다.

본 연구는 일반 학생들이 참여하는 일상 수업에서의 수학적 모델링 활동을 설계하려는 것인바, 수학적 모델링 과정이 세분화되어야 할 필요성이 존재한다. 또한, 집단 창의성 발현을 위한 수학적 모델링 활동을 설계하려는 것인바, 집단 창의성 발현을 위한 상호작용 중 하나로 메타인지적 상호작용이 반복적으로 유도되어야 할 필요성이 존재한다. 이에 따라, 본 연구에서는 정혜윤 외(2018)의 관점이 본 연구의 목적에 부합한다고 판단하여, 수학적 모델링 과정을 [그림 Ⅱ-5]와 같이 정의하고자 한다. 이때, 각 단계에서 요구하는 활동과 그 의미는 다음과 같다(정혜윤 외, 2018, pp. 154-155).

첫 단계인 '실세계 탐구'는 실세계 현상을 관찰하고 그 맥락과 내재된 문제 상황을 이해하는 과정을 의미한다. '문제에 영향 미치는 요인 찾기'는 문제해결에 영향을 미치는 요인을 실세계에서 찾는 단계로, 현상을 수학적으로 해석하고자 하는 첫걸음이 된다. 문제 상황에 포함된 여러 조건과 지표들을 파악하는 것은 적절한 수학적 모델을 세우기 위한 기초 단계로 그 중요성이 매우 크다(황혜정, 2007; NCTM, 2000). '단순화하기'는 앞서 찾은 요인 중에서 문제해결에 가장 직접적으로 관련된 중요한 요인만을 선택하는 것을 의미한다(강옥기, 2010; 박슬히, 신재홍, 이수진, 2014). 단순화를 통해 상황을 보다 간결하고 정확한 형태로 만드는 것은 복잡한 현상을 파악하고 다루는 데 큰 도움을 준다(김선희, 김기연, 2004).

'수학적으로 다양하게 표현하기'는 앞에서 논의한 여러 요인을 문자, 식, 그래프 등을 이용하여 표현해보는 활동을 의미한다. 이를 통해 학생들은 수학적 모델을 생성할 수 있는 반석을 마련하고, 실생활 상황의 문

제를 수학적 관점으로 새롭게 볼 수 있게 된다. 말하자면, 수학적으로 다양하게 표현하기 단계는 수학적 모델링 활동을 위해 주어진 실생활 요소를 수학적 요소로 변환시키는 첫 번째 수학화 활동으로 볼 수 있다. '요소 사이의 관계 찾기'는 요소 사이의 관계를 수학적으로 정리하는 것을 뜻한다. 수학화가 이 과정의 중심이 되며, 현상에서 찾은 요소들과 그 관계는 수학적 대상과 그 사이의 관계로 변환된다(김수미, 1993).

'수학적 모델 도출'은 실세계 맥락의 문제에 영향을 미치는 요인들을 찾고, 그들의 관계를 추측하며, 이를 수학적으로 해석하여 적절한 수학적 모델을 구축하는 것이다. 수학적 모델링에서 구성, 수정, 개선 및 확장되는 것은 모델 그 자체이며, 이를 위해 학생들은 유용한 표현을 소개, 수정, 적용하는 능력을 향상시킨다(Lesh & Doerr, 2012, pp. 378-379). 수학적 모델 도출은 수학적인 해석과 표현의 직접적인 활용을 필요로 한다는 점에서, 수학적으로 다양하게 표현하기 단계와 함께 수학적 모델링 과정의 다른 단계들과 차별화되는 중요성을 지닌다. 다만, 수학적으로 표현하기 단계에서의 표현은 수학적 모델을 도출하기 전까지 실세계 상황을 수학적으로 해석하기 위한 것으로, 문제해결에 직접적으로 사용되는 수학적 모델과는 의미의 차이가 존재한다. 즉, 모델이 모델화되는 체계의 특성을 강조한다면, 표현은 모델화되는 체계 속에 있는 사물에 관심을 둔다(김민경, 2010; Doerr & English, 2003).

'수학적 결론'은 앞에서 얻은 모델을 탐색하여 형식화하고 추상화(김민경 외, 2009)함으로써 적절한 수학적 결과를 얻는 것이다. '모델 적용'은 결과를 실세계 현상에 적용한 뒤, 그 결과를 해석하고 분석하는 과정이다. 마지막으로, '수정 및 개선'은 적용한 결과를 토대로 개선할 점을 찾아 모델을 수정하고 정교화하는 것이다. 이때, 수정 및 개선은 일회성을 띠는 것이 아니라 지속적이고 반복적이며(손홍찬, 류희찬, 2007), 모델뿐 아니라 모델링 과정 전체에 대한 반성 및 성찰로 확장된다.

3.2. 수학적 모델링 활동의 사회문화적 특성[10]

---

10) 이 절의 내용은 정혜윤, 이경화(2019b, 2019c)의 일부를 수정, 보완한 것이

Cobb(1994, 2002)를 비롯한 여러 연구자들(Brown, Collins, & Duguid, 1989; Cobb, Yackel, & Wood, 1992; 1996; Gravemeijer, Cobb, Bowers, & Whitenack, 2012; Schoenfeld, 2002)에 따르면, 수학 활동은 사회문화적 본질을 갖는다. 이들에 따르면 수학 지식은 공동체 구성원 사이의 상호 교섭을 통해 하나의 합의된 영역으로 구축된 것이며, 합의된 영역은 조정 활동에 의해 끊임없이 재창조되거나 수정된다(Ernest, 2010; Redmon, Sheehy, & Brown, 2013). Wood 역시 타인과의 상호작용을 강조하였는데, 그에 따르면 수학 활동 상황에서도 전략이나 결과에 대한 설명을 하고 듣는 것이 필요하다(Sullivan, Mousley, & Zevenbergen, 2006). 이와 같은 수학 활동의 사회문화적 본질은 수학 활동의 하나인 수학적 모델링 활동에서도 드러난다(Gravemeijer, 2002; Gravemeijer et al., 2012).

수학적 모델링 활동을 수행한 선행연구를 살펴보면, 집단 구성을 통한 수학적 모델링 활동이 꾸준히 이루어져 왔다(Mousoulides, Sriraman, & Christou, 2007, p. 15). 다시 말해, 수학적 모델링 활동 시 집단의 구성은 여러 연구(Barbosa, 2006; Doerr & English, 2003; Galbraith & Stillman, 2006; Kaiser, 2007; Vorhölter, 2018, 2019; Vorhölter et al., 2017)에서 제안하고 있는 바이다. 이와 관련하여, Lesh & Doerr(2012, p. 366)와 Barbosa(2006)는 수학적 모델링 활동이 주로 집단에 의해 수행된다는 점에 비추어, 수학적 모델링을 사회적 구성주의의 관점으로 해석할 수 있으며, 수학적 모델링 활동은 사회문화적 활동이라고 주장한 바 있다. 좀 더 구체적으로, Lesh & Doerr(2012, p. 366)는 모델 발달 과정이 사회적 기능을 포함한다고 주장하면서, 수학적 모델의 사회적 구성이 모델링 활동을 지원할 수 있음을 보였다. 자신보다 다른 사람이 제시한 수학적 표현 등을 통해 개념체계가 변화할 수 있는데, 표현의 개발과 개념체계의 변화를 통해 수학적 모델링 활동이 완성된다고 할 때, 수학적 모델의 사회적 구성은 결국 모델링 활동을 지원하게 되는 것이다.

다.

Vorhölter et al(2017)과 Vorhölter(2018)는 개인 역량과 차별화되는 집단 역량을 강조함으로써 수학적 모델링 활동의 사회문화적 측면을 강조하기도 하였다. 구체적으로, Vorhölter(2018, pp. 345-346)는 수학적 모델링 활동을 집단 활동으로 간주하면서 집단 내 사고의 주체가 집단을 구성하는 각각의 개인이 아닌 집단 그 자체가 되어야 함을 언급하였다. 나아가, Vorhölter et al(2017)은 수학적 모델링 활동이 성공적으로 수행되기 위해서는 집단 구성을 통한 집단 내 상호작용이 필수적임을 주장하면서, 집단 내 많은 구성원들의 사고가 공유될 때에만이 수학적 모델링 과제의 해결이 가능함을 언급한 바 있다. 특히, Vorhölter(2018, 2019)와 Blomhøj(2011)는 수학적 모델링에서 나타나는 집단의 메타인지역량을 제시하기도 하였는데, 이는 집단 구성원 개개인의 역량의 합을 뛰어넘는 것으로 개인의 메타인지역량과는 차별화되는 개념이다.

Doerr & English(2003, pp. 112, 114)와 English & Watters(2004, pp. 337-338)는 수학적 모델링의 사회적 기능을 직접 언급하진 않았지만, 다른 학습자와의 상호작용으로 모델 개발 과정의 각 단계가 반복적으로 정제되고 재구성됨을 주장하였다. 정혜윤 외(2018) 역시 [그림 Ⅱ-5]의 수학적 모델링 과정을 토대로 집단 구성을 통한 수학적 모델링 활동을 구성한 바 있다. 이와 같은 논의는 수학적 모델링 활동의 사회문화적 특성을 보여주며, 궁극적으로 집단 구성이 수학적 모델링 활동을 지원할 수 있음을 보여준다.

정리하자면, 이들 선행연구의 결과는 수학적 모델링이 사회문화적 특성을 가지며, 집단 구성을 통한 성공적인 수학적 모델링 활동 수행의 가능성과 함께 수학적 모델링 활동을 위한 집단 구성의 필요성을 보여준다. 집단 구성이 수학적 모델링 활동을 지원하는 방향으로 적용될 수 있음을 보여주는 것이다. 또한, 집단 구성을 중심으로 한 수학적 모델링의 과정과 의미를 보여주는데, 이는 여러 학생이 수학적 모델링 과정에 참여하여 공동의 모델을 구성, 수정하고 발달시키는 과정이라고 할 수 있다. 특히, 모델링 과정에서 소집단 구성원들 사이의 상호작용이 나타나게 되는데(Vorhölter, 2018), 학생들은 상호작용을 통해 사회문화적인 관점

에서 새로운 지식 내용을 공동으로 학습하고 내면화하게 된다(Zhou & Luo, 2012). 다만, 이들 연구는 집단의 어떠한 구성과 활동이 수학적 모델링 과정의 어느 단계에 어떠한 도움을 지원할 수 있는지 제시하지 못하였다는 아쉬움이 남는다. 다음 절에서는 선행연구 분석을 통해 수학적 모델링 활동에서의 집단 창의성 발현 가능성을 확인하고, 수학적 모델링의 각 단계에서 발생할 것으로 기대되는 상호작용과 창의적 시너지를 살펴본다.

3.3. 수학적 모델링에서의 집단 창의성[11)]

앞서 Cobb(1994)는 수학 활동의 사회문화적 본질을 제시하였는데, 사회적 산물인 수학 지식은 물리적, 사회적 세계의 맥락에서 인간 경험의 설명이라는 공유된 기능에 의해 연결되어 있다. 수학 활동의 사회문화적 본질은 학교수학으로도 연결되는데, Cobb(1994), Zhou & Luo(2012) 등의 연구자들은 사회문화적 관점에서 강조하는 상호작용에 주목하여, 학급 안에 존재하고 있는 학교수학의 사회적 상호작용 메커니즘에 주목하였다. 이들은 사회적 상호작용 수업을 지지하는데, 소집단 구성에 의한 교수・학습방법은 그중 한 가지 유형으로 볼 수 있다(황혜정 외, 2013).

한편, 사회문화적 관점에서, 창의적 과정은 그 자체가 사회적이기 때문에 협력적인 성격을 가질 수밖에 없다(홍옥수, 2016). 이는 학교수학에도 적용되는데, 이와 관련하여 Csikszentmihalyi(1999)는 학교수학에서 창의성 교육이 교실이라는 사회적 환경 속에서 발생하기 때문에, 교실 내 집단 구성원들의 상호작용에 영향을 받는다고 하였다. 이와 같은 관점은 창의성 연구에서 집단의 역할과 중요성을 강조하게 된 맥락과도 연결된다. 이 절에서는 위에서 살펴본 학교수학과 창의성의 사회적 상호작용 메커니즘에 주목하여, 학교수학에서의 창의성을 논하고자 한다. 좀 더 세부적으로는 수학적 집단 창의성의 의미를 확인하고, 학교수학에서 집단 창의성 교육을 위한 방안으로써 수학적 모델링의 특징을 살펴보고자 한

11) 이 절의 내용은 정혜윤, 이경화(2019a)를 수정, 보완한 것이다.

다.

3.3.1. 수학적 집단 창의성의 의미

수학적 창의성과 관련한 여러 수학교육 연구들(김부윤, 이진성, 2007; 이경화, 2015; 이대현, 2012)을 살펴보면, 수학의 학문적 특성이라는 영역 특수성(Baer, 1998, 2010; Chamberlin & Moon, 2005)에 기반을 두고 수학적 창의성을 보는 관점이 좀 더 우세하게 나타난다. 구체적으로 살펴보면, 수학의 학문적 특성이 주로 문제해결 과정에서 나타나며(김민경 외, 2010; Hersh & John-Steiner, 2017; Singer & Voica, 2017), 수학적 창의성 역시 문제해결과 밀접하게 연결되어 있다는 것이다(Leikin, 2009; Lev & Leikin, 2017). 본 연구 역시 영역 특수성의 입장에 터하여, 수학적 창의성이 수학 문제해결 과정에서 나타날 수 있다는 관점을 취하고자 한다.

한편, 수학적 창의성의 정의에 대해 합의된 바는 없다. 다만, 대부분의 선행연구(최병훈, 방정숙, 2012; English & Sriraman, 2009; Leikin, 2009)에서는 수학의 영역 특수성이라고 할 수 있는 수학적 문제해결 과정에 기반을 두고, 수학적 창의성을 새롭고 유의미한 수학적 지식 또는 관점을 만들어내는 능력과 과정이라는 데 뜻을 같이한다(이경화, 2015). 이와 같은 의미는 개인의 문제해결 과정 중에 관찰된 개인의 창의성에 초점을 둔 것이기도 하다.

본 연구에서는 개인 창의성과 차별화되는 집단 창의성의 특징 및 수학적 창의성의 영역 특수성을 고려하여, 수학적 집단 창의성을 다음과 같이 정의한다.

수학적 집단 창의성이란 집단의 수학 문제해결 과정에서 집단 내 구성원에 의해 제시된 수학적 사고가 상호작용을 통해 집단 내에서 공유 및 변환되면서 창의적 시너지를 갖게 되는 과정과 그 결과물을 의미한다.

이때, 앞 절에서의 논의를 토대로, 수학적 집단 창의성 발현과정에서 나타나는 상호작용 유형으로 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용 세 가지를 들 수 있으며, 창의적 시너지의 구성요소로 집단 유창성, 집단 융통성, 집단 독창성, 집단 정교성의 네 가지를 들 수 있다. 나아가, 본 연구는 일상 수업에서의 수학적 집단 창의성을 살펴보려는 바, 수학적 집단 창의성 역시 앞 절에서 살펴본 mini-c의 관점(Beghetto & Kaufman, 2014)에서 논의하고자 한다.

아래에서는 학교수학에서 집단 창의성 교육을 위한 방안으로써, 수학적 문제해결의 한 영역으로 볼 수 있는 수학적 모델링(English & Sriraman, 2009)의 특징을 살펴본다. 먼저, 수학적 모델링 과제의 특징에 비추어, 수학적 모델링 과제의 해결 과정에서 집단 창의성 발현이 가능한지 여부를 검토한다. 이후 [그림 Ⅱ-5]의 수학적 모델링 과정에 맞추어 각 단계에서 관찰될 것으로 기대되는 주된 상호작용의 유형과 창의적 시너지를 좀 더 세부적으로 살펴본다.

3.3.2. 집단 창의성 교육을 위한 방안으로써 수학적 모델링

집단 창의성의 정의에서 확인할 수 있듯이, 집단의 활동은 집단 구성원 개개인의 무의미한 행동이 아닌, 하나의 공동 목표를 보유한 집단 구성원들의 인지 자원을 적극적으로 활용하는 방향으로 이루어지는 것이 바람직하다(정혜윤, 이경화, 2018). 집단 창의성이 발현되기 위해서는 집단 내 공유된 목표가 있어야 한다는 것인데(Climer, 2016), 이는 곧 집단 구성원들이 함께 해결해야 할 공동 과제가 있어야 함을 의미한다. 이와 관련하여, Kurtzberg & Amabile(2000-2001)는 집단 창의성이 발현될 수 있는 공동 과제의 특징으로 다양한 풀이가 제시될 수 있는 과제를 제시하였으며, Sawyer(2012)는 비구조화된 문제, 실세계 기반 문제 등을 제시하였다. 이에 더하여, 최근 김부미(2018)는 공동 과제가 갖추어야 할 특징을 수학 학습의 맥락에서 제안한 바 있다.

김부미(2018)에 의하면, 수학 학습에서 집단 창의성 발현을 위한 과제는 학생들의 탐구를 촉발하는 과제, 구조화되지 않았거나 다양한 예 공간을 개발할 수 있는 과제로, 구조화되지 않은 문제를 해결하기 위해 수학을 탐구하고, 다양한 표현과 설명을 위해 활발한 상호작용을 할 수 있어야 한다. 부족한 정보를 채워야 하는 문제, 무엇이 문제인지 생각하고 문제를 만드는 것부터 시작하는 문제, 다양한 해법이 존재하는 문제, 문제해결을 위한 접근 방법을 선택하고 다양한 전략을 시도할 수 있는 문제 등이 이에 해당한다고 하였다(김부미, 2018). 김부미(2018)가 제시한 수학 과제의 특징은 일반적으로 제시되는 집단 창의성이 발현될 수 있는 공동 과제의 특징(Kurtzberg & Amabile, 2000-2001, pp. 291-292; Sawyer, 2012, pp. 246-247)과도 일맥상통한다.

한편, 수학교육 분야의 여러 연구자는 수학적 모델링 과제를 통해 수학적 탐구를 이끌어 낼 수 있다는 데 동의한다(정혜윤 외, 2018). 더불어, 수학적 모델링 과제가 지닌 특징으로 주로 비구조화된 상황인 현실 세계와의 연결성 및 문제해결을 위한 다양한 표현과 해결 방법이 제시된다(황혜정, 민아람, 2018; Blum & Ferri, 2009; English, 2006; Mousoulides et al., 2007). 이와 같은 과제의 특징은 김부미(2018)가 제시한 수학 학습의 맥락에서 집단 창의성 발현을 위한 과제의 특성과 일치한다. 이는 곧, 수학 학습의 맥락에서 집단 창의성 교육을 위한 방안으로써 수학적 모델링이 적절함을 의미한다.

앞에서 살펴보았듯이, 수학적 모델링 활동을 논의한 여러 선행연구(Kaiser, 2007; Vorhölter, 2018, 2019; Vorhölter et al., 2017)에서는 집단 구성을 통한 모델링 활동을 제시한다. 나아가 이들 연구에서는 집단 중심의 수학적 모델링 활동이 이루어질 때 그 과정과 결과물에서 개인의 모델링 활동과 차별화된 특징을 확인할 수 있음을 보여주는데, 이는 집단 활동의 창의적 시너지와도 의미가 연결된다. 아래에서는 이들 선행연구에서 살펴볼 수 있는 구체적인 사례를 통해, 수학적 모델링 과정에서 마주할 수 있는 집단 창의성 발현을 위한 세 가지 유형의 상호작용, 즉 집단 내 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용에 기반을 둔 지식

공유의 사례를 살펴보고자 한다. 더불어, 공유된 지식이 변화하는 과정에서 나타나는 창의적 시너지를 살펴보고자 한다. 이와 같은 논의는 집단 창의성 교육을 위한 방안으로써 수학적 모델링 활동의 적절성을 이론적 측면에서 검토하는 것으로, 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업설계의 토대가 된다.

선행연구(Barbosa, 2006; Lesh & Doerr, 2012; Vorhölter, 2018, 2019)에서는 수학적 모델링 활동 시 집단 내 상호작용이 유도되며, 반대로 집단 내 상호작용을 통해 개인의 역량을 뛰어넘는 집단의 역량이 향상될 수 있음을 주장하였다. 본 연구에서는 이들의 주장과 같은 관점에서, 선행연구 분석을 통해 수학적 모델링 과정의 각 단계에서 집단 창의성 발현 가능성과 발현과정을 살펴본다. 수학적 모델링 활동을 통한 집단 창의성 발현 가능성에 대한 논의는 수학적 모델링 활동의 각 단계에 맞추어 집단 창의성 교육을 위해 필요한 활동을 설계하는 토대가 된다.

먼저, 수학적 모델링 활동에 참여한 학생들은 실세계의 불확실한 상황을 제공함으로써 다양한 방식으로 해석되고 표현될 수 있는 수학적 모델링 과제를 접하게 된다(English, 2006). 수학적 모델링 과제가 갖는 특징으로서 다양한 관점에서의 해석 가능성(Kaiser, 2017)은 상호보완적 상호작용을 통해 사고의 다양성을 이끌어 냄으로써 집단 내 지식공유를 유도한다. 즉, 구성원들은 무엇이 문제이며, 문제에 영향 미치는 요인이 무엇인지에 대한 다양한 의견을 개진 및 공유함으로써 집단의 사고를 확장시킬 수 있게 된다(Artzt & Armour-Thomas, 1992). 이때, 다양한 의견의 개진 및 공유는 집단 내 아이디어 수 증가라는 점에서 상호보완적 상호작용에 의한 집단 유창성의 발생으로 볼 수 있다.

수학적 모델링 과정의 여러 활동은 실세계 맥락 단순화를 위한 주요 요인 선택 및 수학적 모델 도출을 위한 적절한 수학적 표현 선정, 그리고 주요 요인 간 관계 설정과 수학적 모델 선택 등 적절한 방안에 대한 끊임없는 선택과 수정의 반복으로 이루어진다(박진형, 이경화, 2014; 정혜윤 외, 2018). 이는 적절한 방안에 대한 구성원 간 합의가 반복되는 과정으로, 서로 다른 관점을 지닌 구성원 간의 집단 내 의견 불일치로 인

한 갈등과 해결이 반복되는 과정이라고 할 수 있다. 구체적으로, 김선희, 김기연(2004)은 수학적 모델링 과정의 ‘단순화하기’에서 집단 구성원들이 주요 요인을 중심으로 수학적 모델 형성에 포함될 핵심적인 조건 혹은 변수들을 단순화해 나간다고 하였다. 그리고 이 과정에서 집단 구성원들 사이에 주요 요인의 선택 기준과 기준을 충족하는 요인에 대한 서로 다른 의견이 존재하거나, 의견 불일치로 인한 갈등 상황, 즉, 갈등 기반 상호작용이 발생할 수 있음을 보였다. 이때, 불일치하는 서로 다른 의견의 존재는 곧 관점의 다양성을 반영하는 것으로, 내용을 바라보는 관점의 수 증가라는 점에서 집단 융통성과 집단 유창성이 함께 발생한 것으로 볼 수 있다. 단순화하기 단계에서의 갈등 기반 상호작용과 그로 인한 집단 융통성과 집단 유창성 발생은 정혜윤, 이경화(2018)[12]의 연구에서도 확인할 수 있다.

‘수학적으로 다양하게 표현하기’와 ‘요소 사이의 관계 찾기’는 단순화하기를 통해 선정된 주요 요소들 사이의 관계를 수학적으로 표현해보는 활동이다. 집단 내에서 공유된 표현 등은 다른 구성원에 의해 재사용되며, 그 과정에서 일반화, 교환 및 수정될 가능성을 지닌다(Lesh & Doerr, 2012, p. 378). Galbraith & Stillman(2006) 역시 그들의 연구에서 집단 구성원들이 적절한 모델 도출 전까지 다양한 수학적 표현을 공유하였으며, 동시에 서로 다른 수학적 표현에 대한 의견 불일치가 표현의 개선으로 연결될 수 있음을 보였다. 나아가, Galbraith & Stillman(2006)에 따르면 집단 구성원들은 주어진 상황에 맞는 적절한 모델 형성을 위해 모델 형성 전까지의 과정을 여러 시행착오를 거쳐 반복적으로 시행한다. 예를 들어, 집단 구성원들은 적절한 모델이 제시되기 전까지 서로 다른 요소에 집중하거나 서로 다른 수학적 표현을 사용하기도 하며, 때로는 요소 사이의 서로 다른 관계를 제시하기도 한다. 이와 같은 논의는 수학적 모델링 중 적절한 방안을 선택해야 하는 과정을 마주하게 되었을 때 집단

12) 정혜윤, 이경화(2018)의 연구에서 집단 융통성과 집단 유창성을 직접적으로 언급한 것은 아니지만, 해당 연구의 맥락과 본 연구에서 제시하는 창의적 시너지의 개념을 비교했을 때 집단 융통성과 집단 유창성이 발생한 것을 알 수 있다.

내 사고의 불일치로 갈등 기반 상호작용이 발생할 수 있음을 보여준다.

위의 논의에 더하여, Lesh et al(2003) 역시 수학적 모델 도출 이전에 겪게 되는 여러 시행착오 과정이 적절한 모델 형성을 위한 관점의 전환이 발생할 수 있는 상황을 제공한다고 보았다. 즉, 수학적 모델 도출 단계 이전에 거치게 되는 문제에 영향 미치는 요인 찾기, 단순화하기, 수학적으로 다양하게 표현하기, 요소 사이 관계 찾기에서 갈등 기반 상호작용을 경험할 수 있으며 그 과정에서 집단 융통성이 발생할 수 있다고 본 것이다. 또한, 강옥기(2010), 황혜정(2007), Vorhölter et al(2017) 등의 선행연구에서는 반복적인 시행착오의 과정이 집단 구성원들로 하여금 다양한 의견들을 세련화하거나 검증하는 활동, 즉 본 연구에서 제시한 메타인지적 상호작용을 하고 앞선 갈등들을 해결함으로써 점점 더 정교화된 수학적 모델[13]을 도출할 수 있게 한다고 하였다.

종합하자면, 수학적 모델 도출까지의 과정에서 집단 내 구성원들의 다양한 의견이 제시됨과 동시에 의견 불일치로 인한 갈등과 개선, 즉, 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 반복적으로 발생할 수 있음을 보여준다. 또한, 아이디어 수 증가라는 측면에서 집단 유창성이, 내용을 바라보는 관점의 변화라는 측면에서 집단 융통성이, 표현이 개선됨으로써 결과물의 완성도가 향상된다는 측면에서 집단 정교성이 나타나게 되는 것이다.

다음으로, 수학적 모델 도출 단계에서 기대되는 주된 상호작용 유형과 창의적 시너지는 다음과 같다. Blum & Ferri(2009)에 따르면, 수학적 모델링 과제를 접한 학생들은 각자 나름의 수학적 모델을 발산적으로 생성하고자 한다. 이와 같은 상황은 수학적 모델의 구성 시 집단 구성원이 지닌 다양한 관점과 지식, 자원 등이 수집될 수 있는 상황, 즉 집단 내 사고의 다양성에 기반을 둔 상호보완적 상호작용이 발생할 수 있는 상황

13) 강옥기(2010)에 따르면, 정교화된 수학적 모델은 실세계 문제를 해결하기 위한 수학적 모델링 과정에서 여러 가지 변인을 선별하거나 통제함으로써 같은 가정 아래에서도 보다 간결하고 정밀한 해를 구할 수 있게 하는 모델을 의미한다. 모델의 정교화에 대한 자세한 설명은 본 연구의 범위를 벗어나므로 생략한다. 자세한 논의는 강옥기(2010)를 참고하기 바란다.

으로 이어질 수 있다. 예를 들어, 이종희, 이아름(2012)의 경우, 3명의 학생으로 구성된 집단 활동을 통해 수학적 모델링 과제를 해결하는 과정에서 서로 다른 세 가지 형태의 수학적 모델이 다양하게 제시되었다. 이종희, 이아름(2012)의 사례는 수학적 모델 도출 단계에서 발생하는 상호보완적 상호작용이 제시되는 모델의 수 증가, 즉 집단 유창성으로 이어질 수 있음을 보여준다.

학생들이 도출한 수학적 모델은 수학적 결과를 통해 실세계에 다시 적용되는 과정에서 비판에 직면하고 타당성 검증의 대상이 되기도 한다. 즉, 실세계 적용 단계에서 학생들의 메타인지적 상호작용이 발생하는 것이다. 예를 들어, 이종희, 이아름(2012)은 학생들이 도출한 해가 현실적으로 부합하지 않음을 비판적 사고를 통해 현실에 반사시켜 이해하는 모습을 보여주었다. 학생들은 이 과정에서 구성된 모델에 오류가 있음을 확인하고 모델을 폐기한 뒤 더 정교화된 수학적 모델을 도출하였는데, 이는 메타인지적 상호작용과 집단 정교성이 나타났음을 보여준다. 이러한 메타인지적 상호작용과 그로 인한 집단 정교성은 신은주, 이종희(2004a), Galbraith & Stillman(2006) 등의 다른 선행연구에서도 발견된다.

마지막으로, 최종 모델 도출 단계에서 집단 사고의 평가에 기반을 둔 메타인지적 상호작용이 발생할 수 있다. 그리고 이는 모델의 개선, 즉 결과물의 질과 완성도 향상이라는 집단 정교성 발현을 통해 완성도가 높아진 최종적인 수학적 모델을 도출하는 데 핵심적인 역할을 한다. 예를 들어, 정혜윤, 이경화(2018)는 수학적 모델을 도출하는 과정에서 집단 내 메타인지적 상호작용이 발생한 사례와 발생하지 않은 사례를 각각 제시하였는데, 메타인지적 상호작용이 발생한 경우에 그렇지 않은 경우보다 수학적 모델이 더 정교화되고 표현이 다양하게 제시됨을 보였다. 메타인지적 상호작용이 발생하지 않은 경우, 집단 구성원의 다양한 사고가 수학적 모델에 반영되지 못하는 모습이 관찰된 것이다.

위의 논의는 결과적으로 수학적 모델링 과정의 각 단계에서 다양한 형태의 집단 창의성이 발현될 수 있음을 의미한다. 나아가, 집단 창의성 발현으로 인해 집단 내 사고가 확장되고 수학적 표현과 모델이 개선 및 정

교화되는 등 수학적 모델링 활동에 긍정적인 영향을 제공할 수 있음을 보여준다. 지금까지의 논의를 종합하여 수학적 모델링 활동의 집단 창의성 발현과정에서 나타날 것으로 기대되는 주된 상호작용과 창의적 시너지의 유형을 정리하면 <표 Ⅱ-2>와 같다.

<표 Ⅱ-2> 수학적 모델링 단계별 기대되는 주된 집단 창의성

수학적 모델링 과정	기대되는 집단 창의성	
	기대되는 주된 상호작용	기대되는 주된 창의적 시너지
실세계 탐구 문제에 영향 미치는 요인 찾기	상호보완적	- 집단 유창성 : 집단의 사고 확장
단순화하기 수학적으로 다양하게 표현하기 요소 사이 관계 찾기	상호보완적 갈등 기반 메타인지적	- 집단 융통성 : 관점의 전환 - 집단 유창성 : 집단의 사고 확장 - 집단 정교성 : 사고 검증과 타당화 : 모델의 정교화
수학적 모델 도출	상호보완적	- 집단 유창성 : 다양한 모델 제시
수학적 결론 모델 적용	메타인지적	- 집단 정교성 : 모델의 정교화
최종 모델 도출	메타인지적	- 집단 정교성 : 사고 검증과 타당화 : 모델의 정교화

<표 Ⅱ-2>에서 수학적 모델링 과정의 단계별로 기대되는 주된 상호작용과 창의적 시너지의 유형을 각각 제시하였다. 하지만, 집단을 구성하여 수학적 모델링 활동을 수행한 여러 선행연구(김선희, 김기연, 2004; 신은주, 이종희, 2004b; 정혜윤, 이경화, 2018; Galbraith & Stillman, 2006)에서 관찰할 수 있듯이, 수학적 모델링 과정에서 발생하는 상호작용과 창의적 시너지는 특정 단계에서 특정 유형으로 분리되어 단계적으로 나타나기보다, 동시적, 순환적으로 나타난다. 이는 [그림 Ⅱ-5]에서 수학적 모

델링의 각 단계가 순환적으로 나타나는 것과 동일한 맥락으로 볼 수 있다. 종합하자면, <표 Ⅱ-2>에서 제시한 수학적 모델링 과정에서 나타날 것으로 기대되는 주된 상호작용의 유형과 창의적 시너지는 단계적으로 분리되어 나타나기보다 전 과정에 걸쳐 동시적, 순환적으로 나타날 것을 예상할 수 있다.

3.4. 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리

지금까지 사회문화적 관점에서 집단 창의성과 수학적 모델링의 의미를 확인하고, 집단 창의성 발현에 영향을 미치는 요인과 수학적 모델링 활동에서의 집단 창의성 발현 가능성에 대한 이론적 분석을 수행하였다. 그 결과, 집단 창의성을 ‘집단 내 구성원들에 의해 제시된 사고가 상호작용을 통해 집단 내에서 공유 및 변환되면서 창의적 시너지를 갖게 되는 과정 또는 결과물’로 정의하였다. 집단 창의성 발현과정으로 볼 수 있는 상호작용으로 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용의 세 가지 유형이 나타날 수 있으며, 창의적 시너지로 집단 유창성, 집단 융통성, 집단 정교성, 집단 독창성이 발생할 수 있음을 제시하였다(<표 Ⅱ-1> 참고). 이때, 세 가지 유형의 상호작용은 순환적, 동시적으로 나타나며([그림 Ⅱ-2] 참고), 그에 따라 네 가지 형태의 창의적 시너지 역시 순환적, 동시적으로 발생하게 된다. 나아가 집단 창의성 발현에 영향을 미치는 요인을 집단 외적인 환경 요인과 집단 내적인 구성원 요인으로 나누어 제시한 뒤, 집단 창의성 발현 모델을 제시하였다([그림 Ⅱ-3] 참고). 마지막으로, 수학적 모델링 활동 시 수학적 모델링 과정의 각 단계에서 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 나타날 수 있으며, 그 결과 집단 유창성, 집단 융통성, 집단 정교성, 집단 독창성의 창의적 시너지가 발생할 수 있음을 제시하였다(<표 Ⅱ-2> 참고). 즉, 수학적 모델링 활동 과정에서 집단 창의성 발현이 가능함을 확인하였다.

지금까지의 논의를 종합하여, 여기에서는 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리를 제안한다.[14] 제안된 수업 설계의 원리

는 이후 본 연구에서 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업을 설계하는 토대가 된다. 이때, 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리는 수학적 모델링 과제를 해결해 나가는 과정에서 집단 창의성이 발현될 수 있도록 집단 창의성 발현에 영향 미치는 요인을 제시하는 방향으로 볼 수 있다. 이에 따라, 이론적 배경에서 제시한 집단 창의성 발현에 영향 미치는 요인인 집단 외적인 환경 요인과 집단 내적인 구성원 요인에 맞추어 수업 설계의 원리를 제안하면 다음과 같다.

먼저, 집단 외적인 환경 요인과 관련하여, 앞의 이론적 논의에서는 다양한 사고에 대해 개방적이고 긍정적이며 자유로운 토론 분위기가 필요함을 확인하였다. 이를 위해 수업을 구성하는 교사 역할, 과제와 활동지 구성 및 활동지 수행 방식 측면(Hogan, 1999)에서 다음과 같은 방향의 수업 설계를 제안한다.

첫째, 교사 역할과 관련하여, 교사는 집단 내 상호작용을 촉진하는 안내자 역할을 할 것을 제안한다(김부미, 2018; 정혜윤, 이경화, 2019b, p. 57; Levenson, 2011). 정혜윤, 이경화(2018)에 제시된 집단 구성원 사이의 비 상호작용 발생 사례를 살펴보면, 동료인 집단 구성원과의 상호작용보다 교사에 의존하는 모습이 관찰되었다. 이에 근거할 때, 교사는 개인 활동의 방향을 제시하는 안내자가 아니라, 집단 구성원 간의 상호작용을 촉진하는 안내자가 되어야 할 것이다. 김부미(2018) 역시 학생과 교사 간의 안내된 참여를 통해 인지 활동을 조장하는 전략들을 고안하여 제시함으로써 상호작용을 촉진할 수 있어야 한다고 강조하였는데, 이는 상호작용을 촉진하는 안내자로서 교사의 역할이 필요함을 의미한다. 정혜윤, 이경화(2018)가 제언하였듯이, “어떤 의견을 갖고 있니?”라는 발문보다는 “어떤 의견을 들었니?”와 같은 발문을 통해 집단 내 상호작용을 촉진할 수 있을 것이다. 이와 같은 발문의 방향과 교사의 역할은, 일반적인 창의

14) 이후 반복적인 교수실험을 통해, 제안된 원리를 검증 및 수정하는 과정을 거쳐 최종 원리로 제시한다. Ⅲ장에서 제시하듯이, 개발 연구의 예비설계 단계에서 수행되는 이론적 분석을 통해 제안된 원리는 추측된 원리로, 이후 교수실험과 회고분석을 거치면서 수정 및 개선된다. 이에 대한 구체적인 연구 절차는 Ⅲ장에서 제시한다.

성 교육을 위해 교사가 모든 것을 다 알고 있는 전문가가 아닌 학생들 스스로 자유롭게 사고하고 비판하는 기회를 갖도록 지원해주는 안내자의 역할을 해야 한다는 기존의 연구 결과(Sheffield, 2006)와도 일맥상통한다. 다만, 기존의 안내자가 학생의 사고를 지원하는 역할을 하였다면, 집단 창의성 교육을 위해서는 집단 내 상호작용을 지원하는 역할을 한다는 점에서 차이점이 존재한다. 정리하면, 본 연구에서는 교사 역할과 관련한 수업 설계의 원리를 다음과 같이 제안하고자 한다.

PMG-C[15]1. 교사는 집단 내 자유롭고 적극적인 상호작용을 유도하는 안내자 역할을 한다.

둘째, 수학적 모델링 과제와 관련하여, 모델 선택과 결과가 다양하게 제시될 수 있는 복합적인 과제(complex task)를 구성할 것을 제안한다. 수학적 모델링 과제는 그 특징에 따라 유형화될 수 있으며, 수업의 참여자와 목적에 따라 적절한 유형의 과제가 설계되어야 한다(Maaβ, 2010).[16] Bruder 역시 수학적 모델링 과제를 주어진 상황의 고정성, 모델 선택의 다양성, 결과의 다양성 여부에 맞추어 유형화할 수 있음을 보였다(Maaβ, 2010, p. 293에서 재인용).

본 연구는 일반 학교의 일상 수업에서 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 활동을 구성하는 것이 목적으로, 이를 위해 모델링 과제를 해결하는 과정에서 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 발생해야 함을 확인하였다. 이와 같은 연구의 목적에 부합하는 수학적 모델링 과제는 하나의 정해진 모델이 아닌 다양한 모델의 관점으로 해석될 수 있는 과제라고 할 수 있다. 다양한 모델을 탐색하고 해석함으로써 사고

15) Principles of Mathematical modeling instruction design for Group creativity education을 의미한다. PMG-C에서 C는 선행연구 분석을 통해 추측(conjecture)된 원리임을 의미한다.
16) 수학적 모델링 과제는 다양한 기준에 의해 다양하게 유형화된다. 이에 대한 논의는 본 연구의 범위를 벗어나므로 생략한다. 자세한 논의는 Maaβ(2010)를 참고하기 바란다.

의 다양성을 촉진함과 동시에 서로 다른 해석 사이의 갈등을 유발하고, 궁극적으로 제시된 의견을 비판적으로 평가 및 종합할 수 있는 기회가 제공될 수 있어야 하는 것이다. 이에 대해, Bruder는 주어진 상황만 고정된 채 모델 선택과 결과가 다양하게 제시될 수 있는 과제를 복합적인 과제로 명명한 바 있다(Maaβ, 2010, p. 293에서 재인용). 즉, 본 연구는 Bruder가 유형화한 과제 중 복합적인 과제를 설계하고자 한다. 이와 같은 논의를 토대로, 본 연구에서는 과제 구성과 관련한 수업 설계의 원리를 다음과 같이 제안하고자 한다.

PMG-C2. 수학적 모델링 과제로 실세계 상황만 고정된 채 모델 선택과 결과가 다양하게 제시될 수 있는 복합적인 과제를 제공한다.

셋째, 활동지 구성과 관련하여, 집단 내 상호작용을 유도할 수 있는 문항을 제공할 것을 제안한다. 집단 창의성이 발현되기 위해서는 집단에 공동의 목표[17]가 주어져야 한다(Climer, 2016). 이와 관련하여, Levenson(2011)은 다양한 풀이와 답이 제공될 수 있는 과제를 언급한 바 있다. 이는 집단 내 다양한 관점을 유도하기 위해서는 갈등이 발생할 수 있는 문항들로 활동지가 구성되어야 한다고 주장한 Kurtzberg & Amabile(2000-2001, p. 291)와 뜻을 같이 한다. 학생들의 다양한 관점이 적용되기 위한 상황으로서 다양한 풀이와 답이 존재하는 문항이 제공되어야 하는 것이다. 요약하자면, 학생들의 다양한 관점이 유도되고 갈등이 발생할 수 있는 문항들이 주어진 상황에서, 학생들의 다양한 관점이 자유롭게 공유될 때 집단 창의성 교육이 이루어질 수 있다. 위의 논의를 토대로, 본 연구에서는 활동지 구성과 관련한 수업 설계의 원리를 다음과 같이 제안하고자 한다.

17) 수학적 모델링 과제 자체뿐 아니라 수학적 모델링 과제 해결을 위해 주어지는 활동지의 각 문항 역시 공동의 목표가 될 수 있다.

PMG-C3. 다양한 관점을 유도하여 갈등이 발생할 수 있는 문항들로 활동지를 구성한다.

PMG-C3에서 제안하는 과제의 조건은 일반적인 창의성 교육을 위해 요구되는 과제의 조건(Leikin, 2009; Lev & Leikin, 2017; Sheffield, 2006)과 크게 다르지 않다. 이는 집단 창의성 교육을 위해서는 과제 자체보다 집단 내 상호작용을 위한 환경이 마련되어야 함을 보여준다. 즉, 동일한 과제에 대해 상호작용을 유도할 수 있는 적절한 환경이 주어졌을 때 창의적 시너지를 갖는 과제 해결 방안이 모색될 수 있는 것이다. 집단 창의성 발현을 위해 효과적인 협력의 방법을 모색하는 것이 필요하다는 Sawyer(2014, pp. 275-577)의 주장도 이와 뜻을 같이한다.

반복적으로 언급하고 있듯이, 과제의 제공만으로는 집단 창의성 교육이 이루어질 수 없으며(Lozano, 2017), 활동지 구성을 통해 수학적 모델링 과정에서 집단 창의성 발현의 메커니즘이 되는 상호작용을 유도할 수 있어야 한다. 이에 따라, <표 Ⅱ-1>에서 제시한 수학적 모델링의 각 단계에서 발생할 것으로 기대되는 주된 상호작용과 창의적 시너지를 고려하여 문항을 구성할 것을 제안한다. 예를 들어, 문제에 영향 미치는 요인을 찾기 위한 문항은 다양한 요인을 최대한 많이 제시하도록 구성하여 집단 내 상호보완적 상호작용을 유도한다. 결과적으로, 본 연구에서는 활동지 구성과 관련한 집단 창의성 발현을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리를 다음과 같이 제안하고자 한다.

PMG-C4. 수학적 모델링의 각 단계에서 발생할 것으로 기대되는 상호작용을 유도하도록 문항을 구성한다.

다섯째, 활동지 수행 방식과 관련하여, 자유롭게 의견을 개진할 수 있는 브레인스토밍과 브레인 라이팅(김영채, 2007; Nemeth et al., 2004, p. 366; Sawyer, 2012; Siau, 1995)을 제도화할 것을 제안한다. 이때 주의해야 할 점은 브레인스토밍과 브레인 라이팅 활동 자체가 목적이 아니라는

점이다. 브레인스토밍과 브레인 라이팅은 자유로운 의견 교환을 통해 집단 내 사고 공유를 증가시키기 위한 방법일 뿐이다. 이들을 통해 공유된 사고가 집단 내 또 다른 사고를 자극하여 추가적인 아이디어의 생성으로 이어져야 하는 것이다(Paulus, 2000, pp. 240-245). 결과적으로, 본 연구에서는 활동지 수행 방식과 관련한 수업 설계의 원리를 다음과 같이 제안하고자 한다.

PMG-C5. 브레인스토밍과 브레인 라이팅 등을 제도화하여, 다양한 사고에 대해 개방적이고 긍정적인 환경을 구성한다.

마지막으로, 집단 내적인 구성원 요인과 관련하여, 앞의 이론적 논의에서는 집단 구성 시 집단 내 상호작용을 유도하기 위한 인지적 다양성에 대한 고려가 필요함을 확인하였다. 여러 연구(Hoever, van Knippenberg, van Ginkel, & Barkema, 2012; Levenson, 2011; Zhou & Luo, 2012)에서 언급하고 있음을 확인하였듯이, 집단 창의성 발현을 위해서는 집단 내 사고의 다양성이 무엇보다 중요하며 사고의 다양성을 위해서는 구성원들의 인지적 다양성이 확보되어야 한다. 즉, 구성원들의 인지적 다양성은 집단 내 상호작용을 유도하기 위함인데, 이를 위해 김영채(2007), 정혜윤, 이경화(2018) 등의 선행연구에서는 구성원들의 역할분담을 제안한 바 있다.

학생 역할분담을 논의한 선행연구(조무정, 진석언, 2016; Nemeth & Nemeth-Brown, 2003)에서는 활동에 참여하는 집단 구성원들의 사회적 관계 측면에서 집단 구성원들에게 각각의 사회적 역할을 부여하는 것이 활동 중 사고의 다양성과 갈등을 지속적으로 제공할 수 있다고 하였다. 이와 같은 관점에서 정혜윤, 이경화(2018)는 집단 내 인지적 다양성을 확보하고 세 가지 유형의 상호작용을 통한 사고의 공유를 유도하기 위해 집단 내 역할분담을 제안한 바 있다. 학생들에게 의견 추가, 반박, 비판하는 역할을 각각 부여함으로써 사고의 수합, 갈등, 비판적 검토를 각각 유도하는 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용을 지속적으로 유

도할 것을 제안한 것이다. 이는 집단 구성원들의 사회적 관계를 설정하는 것으로, 구성원들 각자 역할을 맡게 된다면 역할 수행을 위해 다른 구성원의 사고에 관심을 갖고 적극적으로 반응하게 될 것이다. 구체적으로, 역할분담은 ‘사고제시자, 갈등유발자, 사고종합자’로 제시할 수 있다. 사고제시자는 다른 구성원이 제시한 견해에 대한 긍정적인 추가 의견제시자로서 상호보완적 상호작용을 유도하고, 갈등유발자는 부정적인 의견 제시자로서 갈등 기반 상호작용을 유도하며, 사고종합자는 비판자로서 메타인지적 상호작용을 유도한다. 각자의 역할 수행을 통해 집단 내 상호작용 과정에서 사고의 다양성과 갈등, 비판적 사고가 지속될 수 있다.

한편, Nijstad & Paulus(2003, p. 329)는 집단 구성원이 다른 구성원의 의견과 일치하는 정보를 언급하는 경향이 있고, 편견이 있는 상태에서 정보를 선택할 수도 있는 등 집단 내 상호보완적으로만 지식을 수집함으로써 집단이 지닌 장점을 살리지 못하는 경우가 있음을 지적한 바 있다. 이러한 주장은 집단 창의성 발현을 위한 세 가지 유형의 상호작용 중 특정 유형의 상호작용, 특히 상호보완적 상호작용만이 발생할 것을 우려한 것으로 볼 수 있다. 이를 방지하기 위해 인위적으로 반대 의견을 제시하고 평가하는 과정이 요구되는데, 이는 갈등제시자와 사고종합자 역할의 필요성을 나타낸다. 동일한 맥락에서, 성지현, 이종희(2017b, p. 526) 역시 집단 창의성 발현과정에서 서로 다른 관점의 유지 실패로 인한 손실을 막기 위해, 다양한 아이디어를 확산적으로 탐색한 후에 서로 검증하고 정당화하는 활동을 포함해야 한다고 주장한 바 있다. 이는 집단 내 메타인지적 상호작용을 유도해야 함을 의미하며, 이를 위해 사고종합자의 역할을 중요함을 보여준다. 지금까지의 논의를 토대로, 본 연구에서는 집단 구성과 관련하여 집단 창의성 수업 설계의 원리를 다음과 같이 제안하고자 한다.

PMG-C6. 집단 구성원들에게 사고제시자, 갈등유발자, 사고종합자의 역할을 각각 부여한다.

이들 여섯 가지 수업 설계의 원리는 본 연구에서 추측해 나가는 일차적 국소적 교수 이론, 즉 수학적 모델링에서의 집단 창의성 교육을 위해 수업시간에 다루게 되는 활동들과 그 활동들 사이의 관련성을 포함하는 교수학적 논의의 출발점이 된다. 더불어, Ⅳ장에서 수업을 설계하는 바탕이 되며, Ⅴ장에서 수업을 실행하는 과정과 결과를 제시하는 바탕이 된다. 다음 장에서는 이 장에서의 연구결과를 토대로, 수업을 설계하고 반복적인 교수실험을 통해 제안된 원리를 개선해 나가는 연구방법과 교수실험 과정에서 관찰되는 집단 창의성을 분석하기 위한 연구방법을 제시한다.

Ⅲ. 연구방법

본 연구에서 제시하고자 하는 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업과 관련한 연구는 지금까지 보고된 연구에서 찾아보기 힘든 상황이다. 이는 수학교육 연구에서 해당 주제의 교수실험이 이루어지지 못하고 있음을 의미하는 것으로, 이론적 측면에서 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계 방안에 대한 체계적인 논의가 우선적으로 필요함을 보여준다. 이에, 본 연구는 집단 창의성과 수학적 모델링에 대한 이론적 검토를 바탕으로 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업을 설계하고 실제적 적용을 바탕으로 설계된 수업을 검증하고자 하는바, 이론을 바탕으로 체계적인 수업 설계와 교수실험의 방향을 제시하는 개발 연구가 본 연구의 목적에 가장 적절하다고 판단하였다.

이를 위해, 이 장에서는 첫째, 개발 연구의 의미와 특징을 확인한다. 특히, 개발 연구를 구성하는 예비설계, 교수실험, 회고분석 각 단계의 특징과 연구 절차 및 신뢰성과 타당성 확보방안을 확인한다. 이에 대한 논의는 본 연구에서 수행하는 수업 설계와 실행, 즉 예비설계와 교수실험 및 회고분석의 전체적인 방향을 제시하게 될 것이다. 둘째, 개발 연구의 각 단계를 수행하기 위한 구체적인 연구방법과 절차를 제시한다.

1. 개발 연구

1.1. 개발 연구의 의미

개발 연구란 '일관적이고 효율적인 교과과정 개발을 위해 적절한 이론을 바탕으로 체계적으로 수업을 설계하고 평가하며, 그 과정을 가능한 한 상세하고 솔직하게 기록하고 보고하는 연구'로, 예비설계, 교수실험, 회고분석 단계로 이루어진다(정영옥, 2005; Gravemeijer, 1998, p. 278). 이때, 개발 연구의 과정 중 예비설계 단계는 기존 교과과정의 한계점을

분석하고, 새로운 교과과정 개발을 위해 학습 목표, 교수 활동 순서, 학생들의 가설학습경로 등을 포함한 일차적 국소적 교수 이론을 추측하는 단계이다(정혜윤 외, 2018). 예비설계 단계에서 교사는 사고실험을 통해 학생들의 반응을 추측한다. 사고실험이란, 학습 목표를 명시하고 이에 도달하기 위한 교수・학습 과정이 수업에서 어떻게 구체화 될 것인지에 대해 연구자가 미리 계획하는 것이다(Gravemeijer, 1998). 이경화(2016)는 프로이덴탈의 표현을 빌려 이를 상상에 의존하는 개념적인 연구라고 하였다. 즉, 수업에서 실제로 교수·학습 과정이 어떻게 진행될지에 대해 마음속으로 생각해보는 것으로, 사고실험의 결과 학생들의 가설학습경로가 구성되며 이후 실제 교수실험을 통해 자료가 수정, 보완되기도 한다(우정호, 정영옥, 박경미, 이경화, 김남희, 나귀수, 임재훈, 2014).

다음으로, 교수실험이란 예비설계 단계에서 개발한 예비 교과과정을 적용하고 검증하는 과정이다. 사고실험 과정에서 생각한 내용을 교수실험 과정을 통해 검증하며, 학생들의 실제 학습경로와 가설학습경로가 어느 정도 일치하는지 알아내기도 한다(우정호 외, 2014, pp. 77-78). 말하자면, 교수실험 단계는 추측과 검증의 순환과정이라고 할 수 있으며, 한 차례의 적용으로 끝나지 않고 국소적 교수 이론을 정립하기 위해 끊임없이 반복된다. 이에 대해 Gravemeijer는 개발 연구의 핵심이 사고실험과 교수실험의 순환과정에 있다고 하였다(우정호 외, 2014, p. 77).

마지막으로, 회고분석이란 교수실험에서 얻은 데이터를 바탕으로 사고실험을 반성하는 단계이다. 회고분석 단계의 목표는 주로 교과과정과 가설적 국소적 교수 이론의 재구성과 수정이지만, 여러 차례에 걸친 교수실험의 흐름 속에서 수업에서 일어나는 일에 대한 다양한 이론적 분석이 이루어지며, 이러한 이론적 분석의 결과나 방법이 앞으로의 연구를 위한 기초가 된다(우정호 외, 2014, p. 80). 회고분석 단계에서는 앞의 두 단계를 통해 미시적 수준에서 이루어졌던 연구와 개발의 순환과정이 좀 더 거시적 수준에서 이루어진다.

개발 연구는 예비설계와 교수실험으로 이루어지는 매일매일의 미시적 순환과정이 모여 장기적인 거시적 순환과정을 구성하는 것으로 나타난다

(정영옥, 2005). 예비설계에서 수행하는 사고실험과 교수실험의 미시적 순환과정을 통해 일차적 국소적 수업 이론을 계속 수정해 나가며, 회고분석을 포함하는 전체 과정이 여러 차례에 걸쳐 반복됨으로써 국소적 교수 이론이 출현하는 거시적 순환과정을 구성하는 것이다. 이는 개발 연구가 개발과 연구가 지속적으로 순환하면서 이론이 진화하는 과정이라는 특징을 보여준다(Cobb & Yackel, 1995; Freudenthal, 2008, pp. 221-222; Gravemeijer, 1998, p. 282).

이러한 측면에서 볼 때, 본 연구에서 수행하고자 하는 수업 설계와 그에 따른 교수실험 진행은 개발 연구 과정의 한 사이클을 구성하는 것으로, 미시적 순환과정에 해당한다고 볼 수 있다. 이후 본 연구의 결과를 토대로 교수실험과 회고분석이 반복적으로 구성될 때 거시적 순환과정을 구성한다고 말할 수 있으며, 나아가 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 이론이 출현할 수 있다.

1.2. 연구의 신뢰성 및 타당성

개발 연구에서는 다음과 같은 방법을 통해 연구의 신뢰성 및 타당성을 높일 수 있다.

첫째, 개발 연구는 진행 과정에 대한 상세한 설명과 해석이 신뢰성과 타당성 확보에 중요한 역할을 한다(Freudenthal, 2008). 개발 연구는 과정에 의해 증명되므로(Freudenthal, 2008), 특정한 결과에 대한 예측보다 사고실험과 교수실험이 반복되고 수정되는 과정에서 무엇이 어떻게 진행되고 있는지에 대해 자세하게 설명하고 해석하는 것이 더 중요하다(우정호 외, 2014, p. 86). Gravemeijer(1998)는 이를 '추적 가능성'이라고 하였는데, 개발과 연구의 순환과정을 다른 사람들이 경험할 수 있도록 보고함으로써 연구의 타당성을 높일 수 있다는 것이다.

둘째, 개발 연구는 이론을 분석하고 자료를 수집, 분석하는 과정 자체가 정당화의 과정이므로, 자료의 수집과 분석이 중요한 역할을 한다. 이에 대해, 우정호 외(2014, p. 85)는 풍부한 자료를 다각도로 분석할 수

있는 정성적 연구 방법론이 중요함을 언급하며, 자료 수집과 분석에 있어서 정성적 연구방법에 따를 것을 강조하였다. 특히, 자료의 다원화를 강조하였는데, 자료의 수집과 분석 모두에서 다원화가 필요함을 주장하였다. 예컨대, 자료 수집 과정에서 학생 활동지, 비디오와 오디오 자료, 인터뷰 등 수집 자료의 다원화가 필요하며, 자료 분석 과정에서도 반복 검증, 동료 보고 등 다양한 방법을 활용하는 것이 필요하다는 것이다.

위에서 살펴본 연구의 신뢰성 및 타당성 확보방안 중 첫 번째 방안은 연구 과정과 결과의 기술 방식에 대한 방향을 제시한다. 그리고 두 번째 방안은 연구방법으로서 자료 수집과 분석 방법에 대한 방향을 제시한다. 이를 참고하여, 본 연구에서는 연구의 신뢰성 및 타당성을 높이기 위해 첫째, 연구의 진행 과정과 결과를 자세히 기술한다. 둘째, 자료 수집 및 분석을 다원화한다. 특히, 현상에 대한 왜곡이나 과장이 발생하지 않도록 연구 참여자의 관점과 연구자의 관점이 반영된 다양한 자료를 수집하며, 자료 분석 시에도 연구 참여자와 동료 검사를 통해 다양한 관점을 참고하도록 한다. 자료 수집과 분석 방법은 아래에서 좀 더 자세히 제시한다.

2. 연구 설계

위에서 개발 연구가 예비설계, 교수실험, 회고분석의 과정으로 수행됨을 확인하고 각 단계의 의미와 목표, 그리고 다른 단계와의 연결성을 확인하였다. 하지만 이들 각 단계의 수행을 위한 구체적인 연구방법은 확인하지 못하였다. 여기에서는 각 단계의 수행을 위해 구체적인 연구방법을 설계하고 그 흐름을 제시하고자 한다.

수업 계열을 구성함으로써 교과과정을 설계하는 등 프로그램 개발을 수행한 선행연구에 따르면, 구체적인 프로그램 개발 절차는 크게 준비, 개발, 검증, 실행, 평가의 5단계로 구성된다(방정숙, 김민경, 2016; 유홍규, 윤종국, 2017; 한혜숙, 2013). 이때 준비는 프로그램 주제 선정 및 학습 내용 조직을 위한 교육과정 분석이 이루어지는 단계이고, 개발[18]은

18) 이때의 개발은 개발 연구에서의 개발과 구별된다. 개발 연구에서의 개발이

구체적인 수업 과정이 개발되는 단계이며, 검증은 전문가 집단의 프로그램 내용 타당도에 대한 평가가 이루어지는 단계이다(한혜숙, 2013). 또한, 실행은 프로그램의 적용이 이루어지는 단계이고, 평가는 프로그램 수정 및 개선을 위하여 수업에 참여한 교사와 학습자를 대상으로 프로그램 평가를 실시하여 프로그램을 최종 수정 및 보완하는 단계이다(한혜숙, 2013). 이를 개발 연구의 과정과 비교해보면, 예비설계 단계에는 준비, 개발, 검증이 속하며, 교수실험 단계에는 실행이, 회고분석 단계에는 평가가 속한다고 할 수 있다.

위의 논의를 토대로, 본 연구는 예비설계와 교수실험 및 회고분석의 구체적인 과정으로 '준비, 개발, 검증, 수정, 실행, 수정, 평가'의 7단계를 수행한다([그림 Ⅲ-1] 참고). 방정숙, 김민경(2016) 등 기존의 연구에서 제시한 5단계를 수용하면서, 검증과 실행 후 각각 수업설계안을 반복적으로 수정하는 과정을 추가함으로써 개발연구의 순환성과 회고분석의 의미를 강조하였다. 더불어, 수정 시 이론적 논의를 반복적으로 검토함으로써 연구의 일관성을 확보하고 다양한 관점을 고려할 수 있도록 하였다(Merriam, 2010, pp. 70-76). 이와 같은 과정은 비선형적인 특징을 갖는다(강정찬, 2015, pp. 281-282). 비선형적인 특징의 반영은 반복적인 검토와 수정을 통해 본 연구의 신뢰성과 타당성을 높이게 된다. 나아가, 연구문제에 대한 이론적, 실제적 측면에서의 추측과 검증을 반복함으로써, 궁극적으로 본 연구에서 제시하려는 '집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업'의 현실적용 가능성을 높이게 된다.

가장 일반적인 수준에서 전체 수업에 대한 새로운 방향을 제시하는 것을 의미한다면, 예비 설계 단계에서 이루어지는 개발은 좀 더 구체적인 수준의 특정 단계에서 이루어지는 자료의 개발, 즉 학습 환경에서 사용될 각종 자료들을 준비하는 것을 의미한다(Gagné, Wager, Golas, & Keller, 2007).

[그림 Ⅲ-1] 연구 설계

[그림 Ⅲ-1]에 제시된 연구 설계의 세부 내용에 대한 구체적인 설명은 다음과 같다. 먼저, 예비설계에 해당하는 준비, 개발, 검증, 수정의 4단계 중 첫 번째 준비 단계에서는 문헌연구를 통해 선행연구와 교육과정을 분석하여 집단 창의성 발현을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리와 수학적 모델링의 각 단계에서 발현될 것으로 기대되는 집단 창의성 모습을 추측한다. 이는 연구문제에 대한 이론적 추측과 연결된다. 해당 내용은 Ⅱ장에 제시되었다.

준비 단계 이후에 이어지는 개발, 검증, 수정 단계에서는 구체적인 수업 설계 및 자료 개발이 이루어진다. 두 번째 개발 단계에서는 준비 단계에서 수행한 문헌연구를 토대로 집단 창의성 교육을 위한 수업을 설계하고 교수·학습 자료들을 개발한다. 이때, 수업은 개발된 자료를 복합적으로 적용하여 설계되며, 설계된 수업은 수업설계안으로 제시된다. 세 번째 검증 단계에서는 설계된 수업과 개발된 교수·학습 자료의 내용 타당도에 대하여 수학교육 연구자이자 현장 교사로 활동 중인 전문가들로부터 평가받는다. 네 번째 수정 단계에서는 전문가 평가 결과를 토대로 선행연구 분석 결과를 함께 고려하여 설계된 수업과 개발된 교수·학습 자

료에서 필요한 부분을 수정 및 개선한다. 개선된 교수·학습 자료에는 수학적 모델링 과제, 학생들에게 제공되는 활동지, 학생들의 집단 구성과 역할분담을 위한 설문지, 활동지의 각 문항 해결 과정에서 발생할 것으로 기대되는 주된 상호작용과 창의적 시너지 및 예시 답안이 제시된 교사지도안이 포함되며, 설계된 수업은 이들 교수·학습 자료를 복합적으로 반영하여 수업 환경 조성 방향과 활동지 해결 과정에 대한 전반적인 안내가 제시된 수업설계안으로 제시된다. 이들은 교수실험의 도구가 된다. 또한, 이들은 모두 연구문제에 대한 이론적 추측을 하는 과정으로, 실제적 검증을 위한 사전 과정의 의미를 갖는다. 해당 내용은 Ⅳ장에 제시된다.

교수실험에 해당하는 실행, 수정의 2단계 중 실행 단계에서는 예비설계 단계에서 설계된 수업과 개발된 교수·학습 자료들을 직접 수업에 적용한다. 이후 수정 단계에서는 수업 적용 결과에 대한 반성을 토대로 선행연구 분석 결과를 함께 고려하여, 설계된 수업과 개발된 교수·학습 자료에서 필요한 부분을 수정 및 개선한다. 이때, 실행과 수정이 반복적으로 수행되면서 수업과 자료가 지속적으로 개선된다. 실행과 수정 단계를 거쳐 완성된 결과물은 본 연구에서 제시하고자 하는 '집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업'을 구성한다. 더불어, 관찰되는 집단 창의성에 대한 이론적 분석은 수학적 모델링의 각 단계에서 발현되는 집단 창의성의 모습을 제시한다. 결과적으로, 교수실험에서의 수업 실행 및 수정은 연구문제에 대한 실제적 검증과 연결된다. 해당 내용은 Ⅴ장에 제시된다.

회고분석에 해당하는 평가 단계에서는 여러 차례에 걸친 교수실험을 통해 수집된 자료를 분석하고 평가한다. 그리고 분석 및 평가 결과가 반영된 최종 결과물을 제시한다. 이는 연구문제에 대한 답과 연결된다. 해당 내용 역시 Ⅴ장에 제시된다.

3. 예비설계 연구 방법

3.1. 선행연구 분석

개발 연구는 개발과 연구가 결합(Cobb & Yackel, 1995)된 것으로, 그 결과뿐 아니라 이에 대한 정당화가 중요한데, 이론 분석은 정당화의 기초가 된다(Gravemeijer, 1998). 본 연구 역시 수업 설계와 자료 개발 및 이들에 대한 정당화를 위하여 집단 창의성 및 수학적 모델링과 관련된 선행연구 분석을 수행하였다. 이를 위하여 모델링, 수학적 모델링, 창의성, 수학적 창의성, 집단 창의성, 상호작용, 창의적 시너지, modeling, mathematical modeling, creativity, mathematical creativity, group creativity, interaction, creative synergy 등을 키워드로 하여 한국교육학술정보원, 대학교 도서관, 학술정보 검색 엔진 등을 통해 국내외의 관련 학술지에서 자료를 검색하였다.

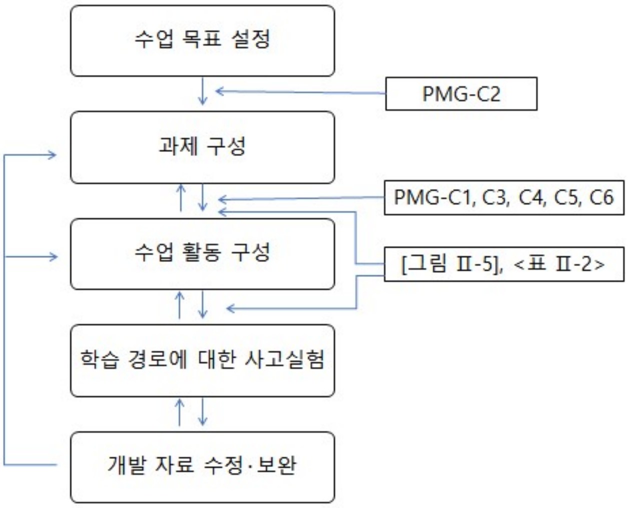
선행연구 분석에 대한 자세한 논의는 Ⅱ장에서 제시하였다. 집단 창의성 및 수학적 모델링에서의 집단 창의성과 관련한 이론적 분석을 통해 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계 원리 여섯 가지와 수학적 모델링 과정의 각 단계에서 발현될 것으로 기대되는 집단 창의성의 모습을 추측하였다. 추측 결과는 수업 설계 및 자료 개발의 토대가 된다.

3.2. 수업 설계 및 자료 개발

예비설계 시에는 학습 목표, 수업 활동, 학생들의 학습경로에 대한 사고실험이 드러나야 한다(Gravemeijer, 1998). 이는 예비설계 과정 중 수업 설계 및 자료 개발이 수행되는 개발 단계에서 구체적으로 드러날 수 있다.

Simon & Tzur(2004)는 수업을 설계, 계획하는 과정이 교사가 학습경로를 구상하는 과정을 포함하며, 학습경로가 수업 설계의 틀이 되기도 한다고 밝힌 바 있다. 이에 따라 수업 설계 과정에서 학습경로가 반영된 틀을 사용하는 것이 중요한데, Prusak, Hershkowitz, & Schwarz(2012), Simon(1995) 등의 선행연구에서는 학습경로가 반영된 틀을 사용한 수업

설계 시 수업 목표와 과제 및 수업 설계의 핵심 아이디어, 그리고 학생들의 학습경로에 대한 설명 등이 포함되어야 함을 제시한다. 이대현(2012), 한혜숙(2013) 등 수업설계안 개발을 수행한 선행연구에서도 수업 목표와 과제, 그리고 수업이 진행됨에 따른 학생의 수업 활동과정을 순차적으로 제시하고 있다. 이는 수업이 수업 목표, 과제, 학생의 활동, 그리고 수업 설계의 핵심 아이디어에 따라 학습경로를 예측하는 교사로 구성됨을 의미하는 것이기도 하다. 이와 같은 논의를 토대로 본 연구에서는 수업 목표 설정, 과제 구성, 수업 설계의 핵심 아이디어에 근거한 수업 활동 구성, 학습경로에 대한 사고실험, 수정 및 보완의 5단계로 이어지는 절차에 따라 수업을 설계하고 자료를 개발한다([그림 Ⅲ-2] 참고).



[그림 Ⅲ-2] 수업 설계 및 자료 개발 과정

먼저, 수업 목표는 본 연구의 목표와 연결되는 것으로, ‘수학적 모델링 활동을 통한 집단 창의성 발현’이다. 이에 따라, 과제는 PMG-C2를 반영하여 집단 창의성 발현에 적합한 수학적 모델링 과제의 특징을 갖는 과제로 구성한다.

다음으로, 수업 활동은 수업 설계의 핵심 아이디어에 근거하여 구성되는데, 본 연구에서 수업 설계의 핵심 아이디어는 집단 창의성 교육을 위한 수업 설계의 원리인 PMG-C1, C3, C4, C5, C6과 이들 원리를 적용하

는데 고려되는 수학적 모델링 과정([그림 Ⅱ-5] 참고), 그리고 수학적 모델링의 각 단계에서 발현될 것으로 기대되는 주된 상호작용과 창의적 시너지의 유형(<표 Ⅱ-2> 참고)이 된다. 이는 곧 세 가지 유형의 상호작용을 유도할 수 있는 활동의 구성(PMG-C3, C4)과 환경 조성(PMG-C5), 그리고 환경 조성을 위한 교사의 역할(PMG-C1)과 학생의 역할분담(PMG-C6)이 필요함을 의미하는 것으로, 위에서 언급한 수업 구성요소를 포함한다.

이들 원리를 토대로, 활동지 구성 및 수업의 진행은 수학적 모델링 과정에 맞추어 설계되어야 한다. 여러 선행연구(김민경, 2010; 이종희, 이아름, 2012; Blum & Ferri, 2009; Galbraith & Stillman, 2006)에서 확인할 수 있듯이, 수학적 모델링 과제를 해결하는 학생들의 학습경로는 수학적 모델링 과정에 맞추어 진행되기 때문이다. 이에 따라, [그림 Ⅱ-5]에서 제시한 수학적 모델링 과정은 수학적 모델링 과제를 수업을 설계하고 활동지를 구성하는 지침으로 활용할 수 있다. 다만, 수정 및 개선 단계의 경우 각 단계의 활동 시 반복, 순환적으로 나타나므로 별도의 문항으로 제시되기보다 각 단계를 수행하는 과정에서 반복적으로 수행될 수 있도록 활동지를 구성한다. 또한, 학생들의 학습경로에서 <표 Ⅱ-2>에 제시된 수학적 모델링의 각 단계별 기대되는 주된 상호작용과 창의적 시너지가 나타나게 된다. 말하자면, 핵심 아이디어에 기반을 둔 활동이 구성될 때, 학생들의 학습경로는 [그림 Ⅱ-5]에 제시된 수학적 모델링 과정을 따라 <표 Ⅱ-2>에 제시된 세 가지 유형의 상호작용이 순환적으로 발생하면서 나타나게 된다. 이후, 학생들의 상호작용 과정을 포함하는 교실 상황을 미리 생각해보는 사고실험을 진행하면서 과제와 수업 활동을 반복적으로 수정 및 보완한다.

사고실험 결과는 학생들의 다양한 학습경로를 중심으로 상세하게 기술한다(우정호 외, 2014). 그리고 이 과정에서 수학적 모델링 과제에 내포된 수학적 내용을 검토한다. 본 연구의 경우, 수학적 모델링 과제([그림 Ⅳ-1], [그림 Ⅴ-3] 참고)가 과자별로 제공되는 데이터의 분석을 요구한다는 점에 근거하여, 막대그래프, 꺾은선그래프와 같은 데이터 수집 시

요구되는 통계 내용과 평균, 가중 평균과 같은 데이터 분석 시 요구되는 여러 가지 통계 내용을 검토한다. 그리고 이를 토대로 통계적 수치를 이용한 풀이 과정에 대한 사고실험을 수행한다.

구체적인 활동지는 선행연구에서 살펴볼 수 있는 학생들의 반응 및 연구자들의 실제 학교에서의 교수 경험을 참고하여 구성한다. 본 연구의 과제는 Lesh & Doerr(2012)의 연구를 참고하여 개발한 과제로, 선행연구에 제시된 학생들의 반응을 참고하였다. 더불어, 교사지도안에는 학생 간의 편차를 고려하여, 문제해결 단계별로 학생들에게 제공할 수 있는 가능 프롬프트와 확장 프롬프트를 추가로 구성하였다(Sullivan et al., 2006). 가능 프롬프트란 수업이 진행되는 과정에서 어려움을 겪는 학생에게 제공할 수 있는 도움을 의미하며, 확장 프롬프트란 계획한 과제를 완벽히 해결했을 때 이들의 사고를 확장시킬 수 있는 도움을 의미한다(Sullivan et al., 2006). 예상한 답 혹은 상호작용이 유도되지 않은 경우, 이들 프롬프트의 제공을 통해 집단 내 상호작용을 통한 과제의 해결을 유도한다.

3.3. 전문가 평가

예비설계 단계에서 연구자가 개발한 프로그램에 대한 전문가의 논의 자료는 매우 중요하다. 특히, 동료 연구자의 비판적인 검토는 개발 연구의 내적 타당도를 높여준다(우정호 외, 2014). 본 연구에서는 연구자가 개발한 수업설계안과 활동지의 내용 타당성을 검토하기 위해, 수학교사이자 수학교육 분야 연구자로 활동 중인 전문가들을 아래의 <표 Ⅲ-1>과 같이 선정하였다.

<표 Ⅲ-1> 전문가 집단

전문가	경력
A	교사 15년, 박사 수료
B	교사 4년, 박사 과정
C	교사 5년, 석사
D	교사 4년, 석사 수료
E	교사 4년, 석사 수료

전문가 집단의 교사들은 연구자와 함께 수학적 모델링과 집단 활동 중심 창의성 교육의 현장 적용 방안에 대해 꾸준히 연구해온 교사들이다. 이들은 현장 경험을 바탕으로 교사연구회와 수학교육 연구 프로젝트 및 학술지 투고, 학회 발표와 같은 연구 활동을 통해 수학적 모델링과 집단 창의성의 교육적 효과 및 현장 적용 확대를 위해 노력해왔다. 전문가 집단에게는 설문지 작성을 위해 필요한 자료로 수학적 모델링 과제가 포함된 학생 활동지, 학생들의 가설학습 경로가 제시된 교사지도안, 집단 구성과 역할분담을 위한 학생용 설문지, 그리고 이들 자료가 복합적으로 반영된 수업설계안 및 수학적 모델링에서 집단 창의성 발현사례가 제시된 선행연구 자료가 함께 제공되었다.

설문 문항은 프로그램에 대한 전문가 평가를 수행한 한혜숙(2013)을 참고하여 제작하였다. 한혜숙(2013)에 따르면, 프로그램에 대한 전문가 평가는 프로그램의 목적과 개념 및 활동 준거에 맞추어 항목별로 이루어져야 한다.

본 연구에서 설계하고자 하는 수업의 목적은 '수학적 모델링 활동에서의 집단 창의성 교육'으로, 주요 개념은 '집단 창의성'과 '수학적 모델링'이다. 그리고 활동 준거라고 볼 수 있는 수업 설계의 핵심 아이디어는 앞에서 제안한 여섯 가지 원리와 [그림 Ⅱ-5]에 제시된 수학적 모델링 과정, <표 Ⅱ-2>에 제시된 수학적 모델링 단계별 기대되는 주된 상호작용과 창의적 시너지이다. 이에 따라 전문가 대상 설문조사는 크게 '수학적 모델링'과 '집단 창의성'의 두 범주로 구성된다.

먼저, '수학적 모델링 활동' 범주는 '수학적 모델링 과제'와 '수학적 모델링 과정'의 두 가지 하위범주로 구성된다. '수학적 모델링 과제'는 본

연구 목적에 부합하는 수학적 모델링 과제가 제시되었는지 여부를 평가하기 위함으로, PMG-C2에 맞추어 실세계 상황에서 다양한 풀이와 답의 제시가 가능한지 여부를 확인한다. '수학적 모델링 과정' 범주는 '과정 안내', '수정, 보완'의 두 가지 최하위범주로 구성된다. 본 연구에서 채택한 [그림 Ⅱ-5]의 8단계로 구성된 수학적 모델링 과정에 맞추어 활동이 구성되었는지 여부, 특히 수정 및 개선의 의미를 반영하여 각 단계에서 반복적인 수정, 개선 활동이 가능한지 여부를 평가한다.

'집단 창의성 발현' 범주는 선행연구자들이 집단 창의성 발현 시 주목해야 할 요소로 언급한 '발현에 영향 미치는 요인'과 '발현과정'의 두 가지 하위범주로 구성된다. 먼저, '발현에 영향 미치는 요인' 범주는 Luria et al(2017), Sawyer(2012)의 논의를 토대로 다시 '환경', '집단 구성', '(학생) 역할분담', 그리고 '(교사) 안내자 역할'의 네 가지 최하위범주로 구성된다. 이때, '환경'의 경우 PMG-C5를 고려하여 자유로운 의견 개진의 분위기가 형성되었는지 여부를, '(학생) 역할분담'의 경우 PMG-C6에 해당하는 의견 추가, 반박, 평가의 세 가지 역할 부여가 잘 반영되었는지 여부를 평가한다. '집단 구성'의 경우 제시된 활동이 3~4인의 집단 구성에 부합하는지 여부를 평가한다. 이는 본 연구가 3~4명으로 한 집단을 구성하려는 의도를 반영한 것이다. '(교사) 안내자 역할의 경우 PMG-C1에 해당하는 상호작용을 안내하는 안내자 역할이 잘 반영되었는지 여부를 확인할 수 있도록 한다. 또 다른 하위범주인 '발현과정' 범주는 Paulus(2000, 2003), Woodman et al(1993), Zhou & Luo(2012)의 논의를 토대로 '상호작용'의 한 가지 범주로 구성된다. 상호작용의 경우, <표 Ⅱ-2>와 PMG-C3, C4를 고려하여, 수학적 모델링 과정에서 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 일어날 수 있는 상황이 제공되었는지 여부를 평가의 초점으로 둔다.

마지막으로, 자유 응답은 위에서 살펴보지 못한 부분에 대하여 전문가 집단의 의견을 추가로 고려하기 위함이다.

위와 같은 이론적 논의를 토대로 구성된 설문 문항은 이후 연구자를 포함한 연구공동체에서의 수차례에 걸친 회의를 통해 검토되었다. 특히,

<표 Ⅲ-2> 전문가 대상 설문지

상위 범주	하위 범주	최하위 범주	번호	설문지 문항	개수
수학적 모델링	수학적 모델링 과제		1	수학적 모델링 활동을 수행할 수 있는 적절한 실세계 상황이 제시되었는가?	3
			2	다양한 풀이가 가능한 과제가 제시되었는가?	
			3	다양한 답이 가능한 과제가 제시되었는가?	
	수학적 모델링 과정	과정 안내	4	수학적 모델링의 각 과정이 수행될 수 있도록 적절한 발문이 제시되었는가?	2
		수정, 보완	5	전 과정에서 학생들이 모델링 활동을 점검하고 수정 및 보완할 수 있도록 설계되었는가?	
집단 창의성	발현에 영향 미치는 요인	환경	6	자유로운 의견 교환이 이루어질 수 있도록 설계되었는가?	1
		집단 구성	7	3~4인의 집단 구성을 통한 활동에 부합하는가?	1
		역할 분담	8	학생들의 역할분담(의견 추가, 의견 반박, 의견 평가)이 잘 이루어졌는가?	1
		안내자 역할	15	활동의 전 과정에서 교사가 집단 내 학생들의 상호작용을 촉진하는 안내자 역할을 할 수 있도록 설계되었는가?	1
	발현 과정	상호 작용	9	집단 내 상호보완적 상호작용이 일어날 수 있게 설계되었는가?	6
			10	상호작용을 통해 다양한 사고가 공유될 수 있게 설계되었는가?	
			11	집단 내 갈등 기반 상호작용이 일어날 수 있게 설계되었는가?	
			12	상호작용 과정에서 발생한 갈등이 긍정적으로 해결될 수 있게 설계되었는가?	
			13	집단 내 메타인지적 상호작용이 일어날 수 있게 설계되었는가?	
			14	메타인지적 상호작용을 통해 집단 내 사고를 점검하고 정교화할 수 있게 설계되었는가?	
자유 응답			16	위의 문항 외 프로그램 개선을 위해 필요한 사항을 제시해 주시기 바랍니다.	1
총합					16

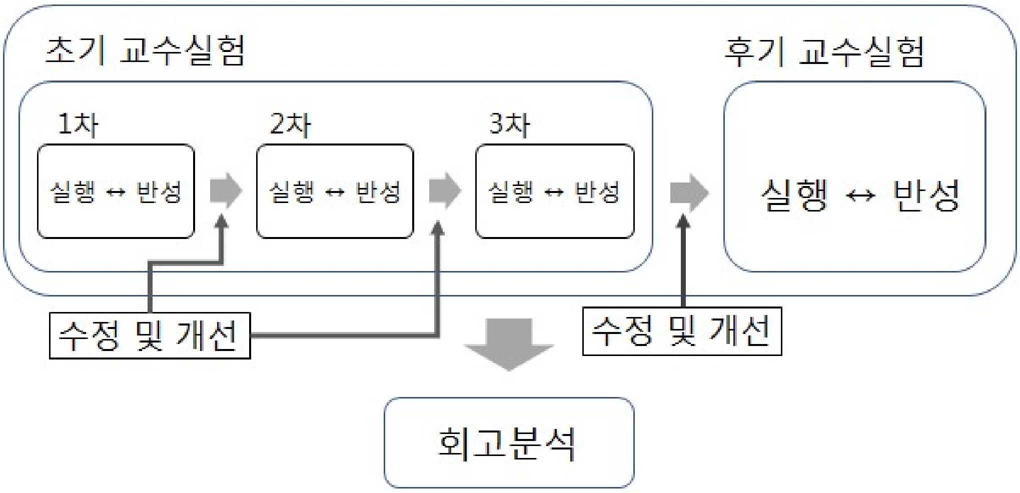
연구공동체에서는 문항이 본 연구의 목표 및 선행연구에 부합하는지 여부와 응답자를 고려한 문항의 구체성 여부를 검토받았다. <표 Ⅲ-2>에 제시된 설문지는 연구공동체의 검토를 통해 완성된 최종 설문지이다. 전문가 집단은 <표 Ⅲ-2>에 제시된 리커트 5점 척도를 이용한 객관식 15문항과 주관식 1문항 등 총 16개의 문항으로 구성된 설문지를 활용하여 설계된 수업과 자료를 평가한다.

3.4. 수업 및 자료 수정

<표 Ⅲ-2>에 제시된 설문지를 통해 전문가 집단에서 제시한 프로그램의 개선 사항에 대한 의견과 문헌연구 결과를 함께 참고하여, 설계된 수업과 개발된 자료를 수정하고 보완한다. 각 문항의 평균을 확인하여, 평균값이 낮은 문항을 중심으로 자료를 수정 및 보완한다. 특히, 객관식 문항의 경우, 평가 결과의 평균값이 3점 이하면 프로그램의 내용 타당성이 부족하다고 판단하여 전문가의 의견을 바탕으로 내용을 수정한다. 자유응답에 제시된 전문가의 의견은 되도록 반영하여 자료를 수정한다. 수정된 자료는 연구자가 포함된 연구공동체에서 다시 검토되었다.

4. 교수실험 및 회고분석 연구 방법

교수실험에서는 추측과 검증을 위한 실행과 반성, 그리고 수정이 반복적으로 진행된다. 이 과정은 크게 개발된 수업과 자료를 정련하는 초기 단계와 정련된 자료를 이용하여 자료를 완성하는 후기 단계로 나누어지며, 후기 단계는 회고분석으로 이어진다(우정호 외, 2014). 전반적인 연구 절차는 다음의 [그림 Ⅲ-3]과 같다. [그림 Ⅲ-3]에서 알 수 있듯이, 본 연구에서는 초기 교수실험에서 세 번의 순환과정을 통해 수업과 자료를 반복적으로 수정하고 다시 한 번 후기 교수실험을 통해 검증하였다. 아래에서는 [그림 Ⅲ-3]에 제시된 교수실험 과정을 초기와 후기로 나누어 좀 더 자세히 살펴본다.



[그림 Ⅲ-3] 교수실험 및 회고분석 연구 절차

4.1. 초기 교수실험

초기 교수실험 단계에서 수업 실행 및 수정은 총 3회에 걸쳐 이루어졌다. 각각의 수업 실행 후 수학적 모델링 과제와 활동지가 수정되었으며, 교사와 학생 역할의 수정과 강화가 이루어졌다. 초기 교수실험의 최종 결과물은 이후 후기 교수실험을 위한 자료로 제시된다.

4.1.1. 연구 참여자 및 연구 맥락

초기 교수실험의 연구 참여자는 서울시 소재 A 중학교 3학년을 지도 중인 수학교사이다. 경력 3년 차 교사로, 석사 과정에 재학 중인 대학원생이기도 하다. 해당 교사는 본 연구 참여 이전부터 수학적 모델링 수업에 관심을 많이 가지고 있었으며, 수행평가 등으로 수학적 모델링 수업을 진행한 경험이 있다. 초기 교수실험은 A 중학교 3학년의 서로 다른 3개 반을 대상으로 진행되었는데, 해당 교사는 초기 교수실험에 참여한 학생들을 3년간 지도하였다. 교사에게는 예비설계를 통해 개발된 수학적 모델링 과제와 활동지, 집단 구성을 위한 설문지, 교사지도안, 수업설계

안이 제공되었으며, 교사는 제공된 자료를 이용하여 수업을 진행하였다.

해당 교사는 연구자와의 래포 형성(Creswell, 2010, p. 172)을 위해 연구 참여 전 여러 번에 걸쳐 사전협의회를 가졌으며, 사전협의회를 통해 집단 창의성과 수학적 모델링 및 본 연구의 목적과 수업 방식에 대해 이해하는 시간을 가졌다. 특히, 본 연구에서 수업 설계의 핵심 아이디어로 제시하는 여섯 가지 수업 설계의 원리를 이해하는 시간을 가졌으며, 그 중 교사 역할과 관련된 원리인 PMG-C1에 맞추어 역할을 수행할 것을 강조하였다. 해당 교사는 이후 후기 교수실험에도 참여하였다.

연구자는 관찰자로서 초기 교수실험의 전 과정을 관찰하였다. 교사의 행동 및 집단별 상호작용 과정에서 관찰되는 행동, 교사와 학생의 활동에서 아쉬운 부분과 수정이 필요한 부분 등을 현장 노트에 기록하였다 (Creswell, 2017, p. 231).

4.1.2. 자료 수집과 분석

자료 수집과 분석 시 정보의 신뢰성과 타당성 확보를 위해 자료 수집과 분석을 다원화하였다. 먼저, 자료 수집과 관련하여, 연구자는 모든 교수실험에 참여하여 수업 관찰 내용을 현장 노트에 기록하였다. 또한, 각 회차의 교수실험이 끝난 뒤 연구 참여자인 수학교사를 인터뷰하였으며, 인터뷰 내용은 모두 녹음하여 전사하였다. 이때, 연구자는 R로, 연구 참여 교사는 T로 제시하였다. 인터뷰는 반구조화된 인터뷰[19]로 진행되었는데, 주로 수업 실행과정에서 학생들의 활동 및 교사의 진행 방식에서 수정이 필요하다고 느낀 부분에 대한 인터뷰를 진행하였다. 마지막으로, 교수실험 과정에서 교사가 별도로 작성한 수업 관련 필기 자료를 모두 수집하여 스캔하였다.

위와 같이 수집된 자료를 이용하여, 개발된 자료에서 수정이 필요한

19) 반구조화된 인터뷰는 미리 정해진 질문의 어법과 질문순서를 갖는 구조화된 인터뷰에 비해 다소 덜 구조화된 질문의 혼합을 의미한다(Merriam, 2010, p. 99).

부분을 분석하였다. 먼저, 연구자의 현장 노트에 작성된 내용과 연구 참여 교사가 인터뷰한 내용이 일치하는 부분을 중심으로 활동에서의 문제점 및 개선이 필요한 부분을 확인하였다. 이후 문제점 개선을 위한 방향으로 자료 수정 방향을 검토하였다. 이 과정에서 연구 참여자 검토와 연구자가 포함된 연구공동체에서의 동료 보고를 통한 재검토가 수행되었다. 이후, 수정된 자료를 이용한 교수실험에서의 자료 수집과 분석이 반복적으로 이루어졌다. 반복적인 자료 수집과 분석을 통해 개발된 자료의 문제점 개선 여부를 지속적으로 검증하고 추가 수정 사항을 확인하였다.

4.2. 후기 교수실험

Glăveanu(2011, p. 475), Sawyer(2012, p. 244) 등의 선행연구에서는 창의성 연구에서 사회문화적 접근을 따를 경우, 질적 연구를 통한 집단 내 상호작용 분석이 요구된다고 하였다. 이는 연구방법의 철학적 토대를 구성주의에 둔 것으로 볼 수 있다(Creswell, 2017, pp. 7-10). 구성주의적 접근에서 의미의 생성은 사회적이고, 인간 공동체의 상호작용으로부터 이루어진다. 이에 따라, 구성주의적 접근에서 추구하는 연구방법은 질적 연구로써, 연구자는 현장에서 수집한 자료로부터 의미를 만들어 간다. 결정론적인 입장에서 사건의 원인과 결과를 따지기보다, 상황에 대한 의미를 이해하고 해석하고자 하는 것이다. 특히, 질적 연구에는 다양한 종류가 있는데, 그 중 사례 연구는 연구하고자 하는 일정한 현상을 대표하는 하나의 사례에 집중하여 분석하는 연구를 의미한다(Creswell, 2010, 2017). 이를 통해 연구하려는 현상의 특징을 보여줄 수 있는 중요한 요소들 사이의 상호작용을 밝히면서 사례가 속해 있는 부류의 특징적 양상을 파악해낸다(우정호 외, 2014).

본 연구의 후기 교수실험에서는 개발한 과제의 실행 및 검증을 통해 수학적 모델링 활동 시 발현되는 집단 창의성이라는 일정한 현상의 특징을 파악하고자 한다.[20] 이와 관련한 연구는 최근 정혜윤, 이경화(2018)가

20) 후기 교수실험은 개발 연구의 교수실험 단계에 해당하는 과정으로서의 의

고등학교 2학년을 대상으로 수행한 바 있다. 하지만 제시된 사례가 한정적인바, 수학적 모델링 과정에서 발현되는 집단 창의성 발현 사례에 대한 연구가 충분히 이루어졌다고 보기 힘들다. 이에, 수학적 모델링에서 집단 창의성 발현 모습과 그 효과에 대한 추가적인 이해를 얻고자 하는 본 연구에서는, 후기 교수실험의 집단 창의성이 발현되는 특정 상황에 대한 해석을 위해 사례 연구가 가장 적합하다고 판단하였다. 즉, 해당 현상이 나타나는 대표적인 상호작용 사례를 집중적으로 분석하는 것이 요구되는 바, 본 연구에서는 다음과 같은 방법으로 사례 연구를 수행한다.

4.2.1. 연구 참여자

4.2.1.1. 학생 참여자 및 역할분담

연구 참여자인 학생들은 초기 교수실험이 진행된 배경과 동일한 서울시 소재 A 중학교의 3학년에 재학 중인 학생 20명이다. 이들은 모두 한 학급에 속한 학생들로, 다양한 성적 분포를 보인다. 학생들은 대부분 모둠 활동에 참여해본 경험이 있다. 평소 교과서 중심의 수학 수업에 참여했으며, 연구 참여 교사의 지도로 프로젝트 과제 형태의 수행평가에 참여한 경험이 있다. 이들은 초기 교수실험에는 참여하지 않은 학생들이다.

집단 창의성 교육을 위해, 학생들을 나누어 모둠[21)]을 구성하였다. 모둠 구성 시 예비설계 단계에서 도출한 수업 설계의 원리 중 학생 구성과 관련된 원리인 PMG-C6을 고려하였다. 구체적으로, 학생들의 인지적 다양

미도 갖지만, 설계된 수업의 적용을 통해 수학적 모델링 과정에서 발현되는 집단 창의성을 분석한다는 의미도 갖는다. 이는 교수실험 중 수업에서 일어나는 일에 대한 다양한 이론적 분석이 이루어질 수 있다는 우정회 외(2014, p. 80)의 제언을 따른 것으로, 본 연구의 연구문제2와 연결된다.

21) 이때의 모둠은 4인 1조로 구성된 집단을 의미하는 것으로, 본 연구에서는 4인으로 구성된 각 모둠에서의 활동을 연구 대상으로 삼는다. 학교 현장에서는 ‘집단’보다 ‘모둠’이라는 용어를 사용한다는 전문가 설문지 조사의 결과를 반영하여, 실험 진행 시 필요에 따라 ‘집단’과 ‘모둠’을 함께 사용하였다.

성을 고려하여, 과제에 대한 의견을 자유롭게 제시하는 사고제시자, 제시된 사고에 반대 의견을 제시하는 갈등유발자, 제시된 사고들을 비판적으로 검토하고 평가하는 사고종합자와 같은 역할을 부여하였으며, 역할분담 결과를 고려하여 모둠을 구성하였다. 그리고 긍정적인 상호작용 분위기 조성을 위해 교우 관계를 고려하여 모둠을 구성하였다.

집단 구성과 역할분담의 경우, 집단 구성과 역할분담을 위해 구성된 설문지를 이용하였다.[22] 예비설계 단계에서 확인한 설문지 적용 방안에 따라 설문지의 하위범주 중 의사소통 방식 결과를 토대로 학생들의 역할분담을 배정한 뒤, 상위범주의 수학 인지적 영역 결과를 토대로 학생들의 인지적 다양성, 즉, 모델링 역량과 의사소통 능력이 고르게 섞일 수 있도록 각 모둠을 구성하였다. 예를 들어, 집단 구성 및 역할분담을 위한 설문지의 의사소통 범주에서 상대방의 의견에 동조적인 사고가 가능하지만 갈등을 유발하거나 비판적 사고가 어렵다고 답한 학생에게는 상호보완적 상호작용을 유도하는 사고제시자 역할을 부여하였다. 역할분담 후, 참여 교사의 의견을 참고하여 구성된 모둠 내 교우 관계를 고려하여 같은 역할의 학생들끼리 교환하는 방식으로 최종 모둠을 구성하였다.

결과적으로, 학생 4명이 한 모둠을 구성하였으며, 학급 내 총 5개 모둠이 구성되었다. 각 모둠 구성원의 역할분담은 <표 Ⅲ-3>과 같다. <표 Ⅲ-3>에서 S11, S12 등은 학생을 의미한다. 학생은 ‘S-소속 모둠-번호’로 기록하는데, 예를 들어, S52는 5조에 속한 학생2를 나타낸다.

<표 Ⅲ-3> 각 집단 구성원의 역할분담

모둠	사고제시자	갈등유발자	사고종합자
1	S11	S12, S13	S14
2	S22	S21, S23	S24
3	S33	S31, S34	S32
4	S43	S41, S42	S44
5	S54	S51, S53	S52

22) 설문지는 예비설계 단계에서 구성되었으며, 학생들에게 제공된 설문지는 <표 Ⅳ-6>에 제시되었다.

사고제시자, 갈등유발자, 사고종합자는 본인의 역할 수행을 통해 각각 상호보완적 상호작용, 갈등 기반 상호작용, 메타인지적 상호작용을 유도하게 된다. 학생들은 자신의 역할을 염두에 두면서 상호작용에 참여하지만, 그렇다고 자신에게 부여된 역할만 하는 것은 아니다. 평소에는 역할에 상관없이 자유로운 분위기에서 의견을 나누며, 생산적인 상호작용을 위해 추가적인 사고의 제시나 갈등, 종합이 필요한 순간이 올 때 자신에게 부여된 역할을 한다.

4.2.1.2. 교사 참여자 및 역할

연구 참여자인 교사는 초기 교수실험 참여 교사이다. 해당 교사는 연구 참여 학생들을 중학교 1학년 때부터 3년간 지도하였으며, 학생들과 높은 친밀감을 형성하고 있었다. 평소 수업시간에 학생들과 활발한 상호작용을 하며, 수행평가 시 프로젝트 과제를 활용하여 학생의 참여를 유도하는 등 모둠 활동에 관심을 갖고 있었다.

해당 교사는 초기 교수실험에 참여하면서 본 연구에서 제시하는 과제와 활동의 의미를 이해하였다. 초기 교수실험에 대한 인터뷰 등을 통해 초기 교수실험 과정에서 보완해야 할 부분을 인식하였으며, 반복적인 수업 실행을 통해 수업을 검증 및 수정하는 경험을 하였다. 후기 교수실험에서는 초기 교수실험에서의 경험을 보완하면서 수업을 진행하였다. 특히, 상호작용과 역할분담의 필요성을 인지하고 후기 교수실험에서는 이들을 강조하는 분위기 조성과 발문을 강화하였다. 즉, PMG-C1의 방향성에 맞추어, 학생들에게 활동을 알려주기보다 활동의 방향을 제시하는 안내자 역할에 충실하였다.

구체적으로, 교사는 모둠 내 긍정적인 상호작용을 유도할 수 있는 방향의 학급환경 조성에 노력하였다(Starko, 1995, pp. 276-280). 또한, 활동 시작 시, 교사는 학생들에게 모둠 내 의견 교환을 충분히 한 뒤 최종적으로 선택된 의견을 제시할 것을 안내하였다. 활동 중에 학생들이 질문할 경우 모둠 내 다른 학생의 의견을 물어보는 등 학생들 간의 상호작

용을 유도할 수 있는 발문을 제시하고자 노력하였다.

추가로, 해당 교사는 Lesh & Doerr(2012, pp. 380-381)가 언급한 바 있는 수학적 모델링 과제에 제시된 실세계 맥락의 타당성과 실제 발생 가능성을 중요하게 생각하였다. 이에 따라 본 연구의 과제에 제시된 실세계 맥락에 대해서도 타당성과 발생 가능성을 점검하고 학생의 입장에서 실제 경험 가능한 상황인지 고려하는 모습을 보였다. 이후 실제 수업에서도 과제에 제시된 실세계 맥락을 학생들에게 충분히 이해시키고자 하였다.

마지막으로, 연구자는 관찰자로서 수업의 전 과정을 관찰하였다. 교사의 행동 및 집단별 상호작용 과정에서 관찰되는 행동, 교사와 학생의 활동에서 아쉬운 부분과 수정이 필요한 부분 등을 현장 노트에 기록하였다(Creswell, 2017, p. 231).

4.2.2. 수업 설계

수업은 다음과 같이 설계되었다. 이때, 후기 교수실험 역시 개발 연구 과정의 일부로, 실행과정에서 검증과 수정이 지속적으로 이루어졌다([그림 Ⅲ-3] 참고). 예컨대, 2차시 수업이 종료된 후 검증 결과를 바탕으로 3차시 수업 시 기존의 설계안을 수정하여 실행하였다.

수업은 45분씩 총 3차시로 구성된다. 수업은 [그림 Ⅱ-5]의 수학적 모델링 과정에 따라 진행된다. 1차시에는 실세계 탐구와 문제에 영향 미치는 요인 찾기, 수학적으로 다양하게 표현하기 단계를, 2차시에는 단순화하기, 요소 사이 관계 찾기, 수학적 모델 도출을, 3차시에는 수학적 결론과 모델 적용을 통한 최종 모델 도출 단계를 수행할 수 있도록 한다. 다만, 상황에 따라 수업 진행 시간은 조절할 수 있다. 또한, 수학적 모델링이 순환적 특징을 지님에 따라, 학생들은 필요한 경우 단계를 변경하거나 반복, 수정할 수 있다.

후기 교수실험 단계의 수업은 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리와 초기 교수실험 결과를 고려하여 설계된다. 먼저, 학

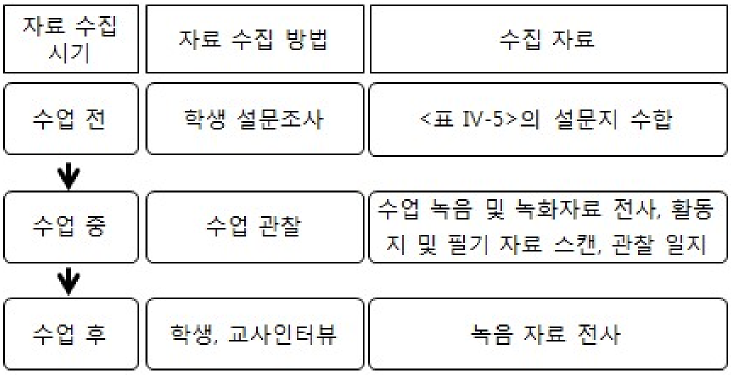
생들에게는 수학적 모델링 과제와 활동지가 제공되며, 교사에게는 수업을 위한 수업설계안과 교사지도안이 제공된다. 수업설계안은 수학적 모델링의 각 단계에서 발현될 수 있는 상호작용 유형과 수업 진행 방식을 제공한다([그림 Ⅴ-10] 참고). 교사지도안은 활동지의 각 문항에 대한 예상 답안과 프롬프트 등을 제공한다([그림 Ⅴ-9] 참고). 활동지는 제시된 수학적 모델링 과제([그림 Ⅴ-3] 참고)를 해결하기 위해 학생들에게 수학적 모델링의 단계별 활동을 안내하고, 동시에 집단 내 집단 창의성 발현을 유도하기 위한 문항을 제공한다(<표 Ⅴ-3> 참고). 학생들은 최종 산출물로 과자 2개를 추천하는 편지를 직접 작성하여 제출한다.

연구 참여자들에게 부여된 역할은 앞에서 서술한 바와 같다(<표 Ⅲ-3> 참고). 학생은 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용을 유발하기 위한 역할분담을 하며, 교사는 학생 간 상호작용을 유도하는 발문을 한다. 추가로, 수업 설계의 원리 중 활동지 수행 방식과 관련된 원리인 PMG-C5를 반영하여, 브레인스토밍, 브레인 라이팅과 같은 개방적이고 자유로운 토론 환경을 마련한다(Luria et al., 2017, p. 1036; Sawyer, 2012, pp. 235, 241). 특히, 브레인 라이팅을 위해 구성원 모두에게 활동지를 제공한다. 마지막으로, 학생들에게는 정보 검색과 계산을 할 수 있는 스마트폰 혹은 노트북이 주어졌다.

4.2.3. 자료 수집

Sawyer(2012, p. 244)에 따르면, 집단 내 상호작용 분석은 집단 내 의사소통 분석으로 진행된다. 본 연구 역시 집단 내 의사소통을 근거로 상호작용을 분석하고자 한다. 구체적인 자료의 수집절차는 다음과 같다.

본 연구에서는 앞에서 살펴본 개발 연구의 타당성과 신뢰성 향상 방안 중 하나인 자료 출처의 다양화(Creswell, 2017, pp. 223-246)를 확보하는 방향으로 자료를 수집하였다. 자료의 출처는 크게 수업 전 학생 설문조사, 수업 중 수업 관찰, 수업 후 교사와 학생 인터뷰로 이루어진다([그림 Ⅲ-4] 참고).



[그림 Ⅲ-4] 자료 수집 절차와 수집 자료

수업 전 학생 설문조사는 교수실험이 진행되는 수업 전에 집단 구성과 역할분담을 위해 이루어진 것으로, <표 Ⅳ-6>을 이용하여 진행되었다. 설문지는 모두 수합하여 코딩하였으며, 설문조사 결과는 학생 연구 참여자의 역할분담에 적용되었다.

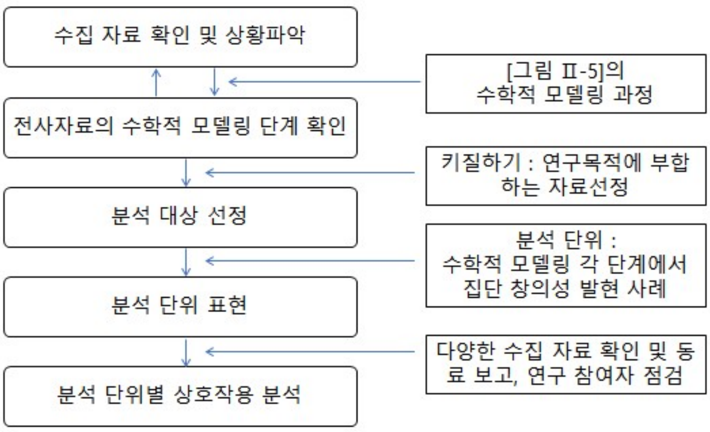
교수실험이 이루어지는 수업 중에는 수업 관찰이 이루어졌다. 수업 관찰을 통해 수집된 자료는 다음과 같다. 첫째, 수업장면을 모둠별로 녹화, 녹음한 뒤 모두 전사한다. 둘째, 연구자는 관찰자로서 수업을 관찰하면서 현장 노트를 작성한다. 현장 노트에는 반구조적인 방식으로 연구가 진행되는 장소에서 발생하는 활동들을 기록한다. 주로 특정 사건이나 활동의 원인, 활동에 대한 연구자의 고찰, 감상 등을 기재한다. 셋째, 학생들의 활동지와 그 외 수업시간에 작성한 필기 자료, 교사의 필기 자료를 모두 수합한 뒤 스캔한다.

교수실험이 끝난 뒤에는 인터뷰가 진행되었다. 이때, 인터뷰 대상자는 교사와 수업에 적극적으로 참여한 학생 중 인터뷰 참여에 희망한 학생들이다. 학생의 경우 역할분담을 함께 고려하였다. 인터뷰는 모두 반구조화된 인터뷰로 진행되었다(Merriam, 2010, pp. 99-101). 교사 대상 인터뷰는 각 차시별 수업이 끝난 뒤 이루어졌다. 교사가 느낀 수업의 분위기와 학생들의 활동, 수업에서 아쉬웠던 점과 다른 수업에 비해 좋았던 점을 중심으로 질문하되, 정확한 단어의 사용이나 질문의 순서를 미리 정하지

않았으며 응답자의 생각이나 질문에 반응하기도 하였다. 학생 인터뷰는 모든 차시의 수업이 끝난 뒤 이루어졌으며, 대상자에는 S12, S22, S31, S32, S34, S43, S52, S53이 해당한다. 인터뷰에 참여한 학생이 속한 집단의 분위기와 역할분담에 대한 생각, 각 단계별 활동에서 발생한 에피소드 중심으로 질문하되, 정확한 단어의 사용이나 질문의 순서를 미리 정하지 않았으며 응답자의 새로운 생각에 반응하기도 하였다. 인터뷰 내용은 모두 녹음한 뒤 전사하였다.

4.2.4. 자료 분석

위와 같이 수집한 자료를 [그림 Ⅲ-5]의 절차로 분석한다. 이때, 연구의 타당성과 신뢰성을 높이기 위해 자료 분석의 다원화(Creswell, 2017, pp. 223-246)를 수행하였다.



[그림 Ⅲ-5] 자료 분석 절차

첫째, 모든 수집 자료를 읽고 상황을 파악한다. 이때, 다양한 자료를 삼각 검증하여 상황을 잘못 파악하는 일이 없도록 한다. 예를 들어, 녹음 및 녹화한 자료에 대한 전사 자료를 보면서 확인할 수 있는 학생의 발언과 행동에 맞추어 학생의 활동지와 연구자의 현장 노트를 같이 살펴본다.

둘째, [그림 Ⅱ-5]의 수학적 모델링 과정에 맞추어, 전사 자료에서 수학적 모델링 단계를 확인한다. 1단계에서 자료의 전반적인 의미를 살펴보았다면, 2단계에서는 수학적 모델링 과정의 각 단계에 맞추어 활동을 검토한다.

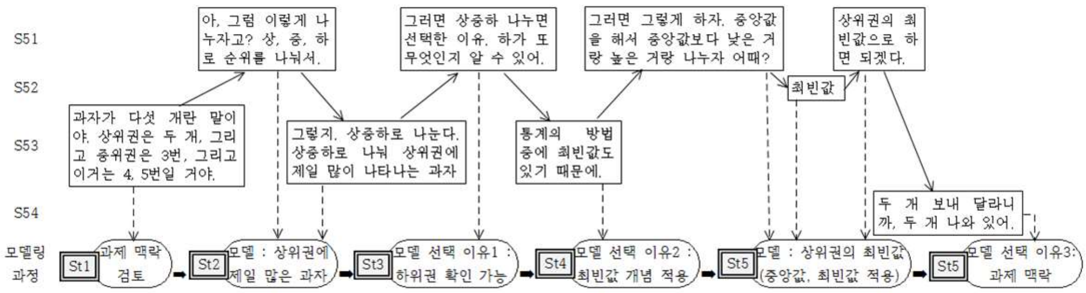
셋째, 자료의 '키질하기(winnow)'를 통해 연구 목적에 부합하는 자료, 즉, 분석 대상을 선정한다. 교수실험 단계에서 본 연구의 목적은 '수학적 모델링 과정에서 발현된 집단 창의성 확인'이다. 이에 따라, 본 연구의 분석 대상은 '위의 두 번째 절차를 통해 확인한 수학적 모델링의 각 단계에서 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 나타난 사례'가 된다.

넷째, 분석 대상으로 선정된 내용 중 수학적 모델링의 각 단계에 해당하는 내용의 장면을 구분하여 독립된 분석 단위로 선정한다. 예를 들어, 키질하기를 통해 분석 대상으로 각 단계에서 상호작용이 발생한 사례가 선정되었다면, 선정된 사례 중 실세계 탐구 단계, 수학적 모델 도출 단계 등 각 단계에 해당하는 장면들이 각각 독립된 분석 단위가 된다. 연구자는 각각의 분석 단위를 분석하며(김병섭, 2010, p. 215), 각 분석 단위의 분석 결과는 이후 수학적 모델링의 각 단계에서 발생하는 상호작용 유형에 대한 정보를 제공한다.

다섯째, 선정된 분석 단위를 표현틀에 맞추어 표현된다. 이때 표현틀은 Núñez-Oveido, Clement, & Rea-Ramirez(2008, p. 181)가 제시한 모델링 과정의 표현틀을 수정, 보완한 것이다([그림 Ⅲ-6] 참고). 해당 표현틀은 시간의 흐름에 따른 수학적 모델링 과정과 각 과정에서 나타나는 소집단 구성원들의 상호작용을 살펴볼 수 있다는 장점을 갖는다. 순환적, 중첩적으로 나타나는 모델링 과정을 분석 단위별로 분리하여 보여줌(Núñez-Oveido et el., 2008)으로써, 전사 자료에서 한눈에 파악하기 어려운 시간의 흐름에 따른 모델링의 각 단계별 실행과 실행과정에서 나타나는 구성원 발언 사이의 연결을 확인할 수 있게 하는 것이다(이신영 외, 2012). 표현틀에 대한 구체적인 설명은 다음과 같다.

[그림 Ⅲ-6]은 구성원(S51, S52 등으로 표시)간의 발화(직사각형)가 연

결되면서 사고가 확장되는 과정과 수학적 모델링의 각 단계별 진행과정(St1, St2 등)을 제시한다. 학생들의 발화 및 모델링 과정은 왼쪽에서 오른쪽으로 진행된다. 연결된 발언은 화살표 방향의 실선으로 표현되는데, 앞뒤의 발화가 연결되면 화살표 표시를 하고 연결되지 않으면 화살표 표시를 하지 않는다. 서로 다른 구성원 간의 연속적인 화살표 연결은 상호작용이 이루어진 것으로 간주할 수 있으며, 연결이 이루어지지 않았다면 비 상호작용이 이루어진 것으로 볼 수 있다(이신영 외, 2012). 모서리가 둥근 사각형은 수학적 모델링의 각 단계별 결과물을 보여주며, 발언으로부터 확인할 수 있는 각 모델링 단계의 결과물은 점선 화살표로 표현된다. 굵은 화살표는 각 단계별 결과물의 흐름을 보여준다.



[그림 Ⅲ-6] 수학적 모델 도출 단계에서 관찰된 5조의 상호작용 사례

여섯째, [그림 Ⅲ-6]의 표현틀에 맞추어 표현된 분석 단위별 집단 내 상호작용의 유형 및 상호작용 과정에서 나타나는 창의적 시너지를 분석한다. 이때, Ⅱ장에서 살펴본 내용적 특징을 바탕으로, 상호작용은 세 가지 유형으로 범주화하며 창의적 시너지는 네 가지 유형으로 범주화한다. 세 가지 유형의 상호작용으로 범주화하는 것은 상호작용이 내용의 특징에 의존한다는 특징을 갖는다는 것(Mercer, 1995)을 의미한다. 즉, 수학 문제해결 과정에서 나타나는 학생들 간의 상호작용을 그 맥락에서 확인되는 내용적 성격에 따라 구분한 선행연구(정혜윤, 이경화, 2018; 조미경, 김민경, 2016; Mercer, 1995)를 참고하여, 상호작용 유형을 범주화한다.

위에서의 분석 방법을 적용하여 [그림 Ⅲ-6]을 분석하면 다음과 같다. [그림 Ⅲ-6]은 5조가 [그림 Ⅴ-3] 과제를 해결하기 위해 <표 Ⅴ-3>의

활동지 6번 문항을 통해 수학적 모델 도출 단계를 수행하는 과정에서 관찰된 상호작용 사례이다. 최고의 과자를 선정하는 데 요구되는 데이터를 종합하기 위한 수학적 모델을 찾는 과정에서, S53이 과제 맥락을 설명하자(St1), S51이 S53의 의견에 이어서 과자의 순위를 상, 중, 하로 나눌 것을 제안하였다. S53이 S51의 의견에 추가하여 과자의 순위를 상중하로 나눈 뒤 '상위권에 가장 많이 속한 과자'를 선택하는 수학적 모델[23]을 제안하였다(St2). 이후 S51과 S53이 해당 모델의 장점을 상호보완적으로 제시하면서 해당 모델의 선택 이유를 확장해 나갔다(St3, St4). 상호보완적 상호작용이 발생한 것이다. 그리고, 상호보완적 상호작용 과정에서 구성원들이 서로 다른 구성원의 사고에 이어서 자신들의 사고를 누적시킴으로써 집단 내 사고가 확장되는 방향으로 아이디어 수의 증가가 이루어졌으므로, 집단 유창성이 나타났다고 할 수 있다. 이후, S53의 사고에 이어서 S51이 해당 모델을 수학적으로 정교화하기 위해 중앙값 개념을 도입하자(St5), S52가 최빈값 개념도 적용되었음을 추가하였고(St6), S51은 S52의 의견을 종합하여 '상위권의 최빈값'이라는 수학적 모델을 도출하였다(St1). 이는 구성원들의 사고가 연결되는 메타인지적 상호작용을 통해 수학적 모델이라는 결과물의 완성도를 높인 것으로, 집단 정교성이 나타났다고 할 수 있다. 이후 S54는 과제 맥락을 다시 검토하며 해당 모델 선택 이유를 추가(St6)하였다. 이는 St3, St4와 연결된 맥락으로, 집단 내 새로운 아이디어 수의 증가로 볼 수 있으므로 집단 유창성이 나타났다고 할 수 있다. 요약하자면, [그림 Ⅲ-6]은 5조가 수학적 모델을 도출하는 과정에서 상호보완적 상호작용을 통해 집단 유창성이 나타나고 메타인지적 상호작용을 통해 집단 정교성과 집단 유창성이 나타났음을 보여준다.

마지막으로, 연구의 타당성과 신뢰성을 높이기 위해 자료의 분석 시 풍부하고 밀도 높은 서술을 실행한다. [그림 Ⅲ-6]과 같이 제시된 분석 단위는 수업 중 관찰된 사례에 해당하지만, 분석 단위를 다각도로 분석하고 분석 결과를 뒷받침하기 위해 학생과 교사의 인터뷰 결과를 활용한

23) 최빈값 모델로 볼 수 있다.

다. 또한, 서술의 정확성을 높이기 위해 동료 보고와 연구 참여자 점검을 수행한다. 해석 결과에 대해 동료 혹은 연구 참여자와의 의견이 일치하지 않는 경우, 논의를 통해 해석 결과에 대한 조정을 거쳐 합의를 이끌어낸다.

4.3. 회고분석

개발 연구의 마지막 단계인 회고분석 단계에서는 예비설계 및 초기와 후기 교수실험에 활용된 자료와 분석 결과를 종합적으로 분석한다. 이를 통해 예비설계와 교수실험 연구결과를 반성하고, 개발된 자료의 한계점과 수정 방향을 제시한다. 이때, 회고분석 단계에서 자료 분석의 초점은 다음과 같다.

첫째, 예비설계와 교수실험을 반복적으로 진행함에 따라 이전 단계에서 발견된 개발 자료의 한계점과 수정된 부분이 이후의 단계에서 어떤 결과를 가져왔는지 확인한다. 한계점이 개선되었는지, 혹은 다른 한계점이 발생했는지 여부를 논의한다. 둘째, 수학적 모델링의 각 단계에서 집단 창의성 발현 모습을 확인한다. 예비설계 단계에서 추측한 가설학습경로(<표 Ⅲ-2> 참고)에서 수정이 이루어진 부분을 반복적으로 살펴본다. 셋째, 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계 원리의 적절성을 확인한다. 예비설계 단계에서 추측된 여섯 가지 수업 설계의 원리 중, 교수실험 과정에서 수정이 필요하거나 삭제 혹은 새롭게 제시되어야 하는 원리를 확인한다.

Ⅳ. 예비설계 결과 : 수업의 설계[24)]

이 장에서는 개발 연구의 세 단계 중 첫 번째 단계인 예비설계의 세부 과정과 결과를 자세히 기술한다. 다만, 준비 단계에서 수행한 문헌연구의 결과는 Ⅱ장에 제시되었으므로, 이 장에서는 수업 설계의 핵심 아이디어가 되는 여섯 가지 ‘집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리’와 수학적 모델링의 각 단계별 기대되는 주된 집단 창의성(<표 Ⅱ-2> 참고)을 적용하여 ‘개발, 검증, 수정’의 과정과 결과를 제시한다. [그림 Ⅲ-1]에서 확인할 수 있듯이, 예비설계의 결과물은 본 연구의 연구문제에 대한 답을 이론적 측면에서 추측함으로써 향후 교수실험을 통한 실제적 측면에서의 검증을 위한 토대가 된다. 정리하자면, 이 장에서의 결과물은 그 자체로서 개발 연구 과정을 제시하고 정당화한다는 의미와 Ⅴ장에서 논의할 교수실험의 도구가 된다는 의미를 동시에 갖는다.

1. 수업 설계 및 자료 개발 결과

문헌연구를 통해 추측한 여섯 가지 원리를 반영하여 수업 설계 및 자료 개발이 이루어졌다. 구체적으로, 집단 구성과 환경 조성 방안, 수학적 모델링 과제, 학생 활동지, 교사지도안, 수업설계안이 개발되었다. 이들 자료는 전문가 평가를 위해 <표 Ⅲ-1>의 전문가 집단에 제공된 자료이기도 하다. 아래에서는 수업 설계의 핵심 아이디어를 토대로 이들 자료가 개발되고 수업이 설계된 과정과 결과를 제시한다.

1.1. 초기 수학적 모델링 과제

수학적 모델링 과제 구성에는 PMG-C2가 반영되었다. 이때, 실세계 상황과 관련하여 Doerr & English(2003, pp. 111-112)는 Watson & Moritz

---

24) 이 장의 내용은 정혜윤, 이경화(2019a)를 요약 및 보완한 것이다.

와 Lehrer & Romberg, 그리고 Gravemeijer, Cobb, Bowers, & Whitenack 등 여러 선행연구를 분석한 결과를 토대로, 수학적 모델링 과제에 제공되는 실세계 상황이 학생을 둘러싼 맥락과 관계된 상황이어야 한다고 주장하였다. 이는 전통적인 실생활 연계 문제에서 제공하는 잘 다듬어진 구조화된 맥락이 아닌, 실제 맥락에서 접할 수 있는 상황이어야 함을 의미한다.

이와 함께 Doerr & English(2003, pp. 111-112)는 수학적 모델링 과제가 모델의 선택 시 수학적으로 중요한 구성요소를 유도할 수 있어야 함을 추가로 제시하였다. 수학적 모델링 과제가 실세계 상황으로부터 시작하지만, 궁극적으로는 수학적 모델을 도출해야 하므로 모델의 선택과 결과에 있어서 수학적 지식의 측면 역시 고려해야 함을 강조한 것이다. 요약하자면, PMG-C2가 반영된 수학적 모델링 과제 개발 시 학생들이 경험할 수 있는 실세계 맥락의 제공과 정보 분석 과정에서 수학적 지식의 경험 가능성이 고려되어야 한다. 이와 같은 수학적 모델링 과제 개발의 기준을 토대로 개발된 수학적 모델링 과제는 [그림 Ⅳ-1]과 같다.

군것질을 좋아하는 친구 승연이가 여러분에게 간식으로 먹기 좋은 '최고의 과자' 3개를 선정해 달라고 도움을 요청하였습니다. 승연이가 아래와 같은 기준으로 과자를 선택한다고 할 때, 여러분은 어떤 과자를 추천하겠습니까? 주어진 10개의 과자에 표기된 정보를 분석한 결과를 바탕으로, 타당한 이유와 함께 최고의 과자를 추천하는 편지를 작성해 봅시다. 승연이가 여러분의 의견을 받아들일 수 있도록 최고의 과자를 선정한 방법에 대해 자세히 작성해야 합니다. 1. 살이 많이 찌는 간식은 피하고 싶어 한다. 2. 전체 금액도 중요하지만, 양에 비해 너무 비싼 과자는 좋아하지 않는다. 3. 건강을 위해 영양성분을 확인하는 편이다. 4. 화학제품이 많이 첨가된 과자는 되도록 안 먹으려고 노력한다.

[그림 Ⅳ-1] 초기 수학적 모델링 과제

먼저, [그림 Ⅳ-1]에 제시된 맥락은 학생 주변에서 흔히 볼 수 있고 학

생들이 종종 접하게 되는 '과자'를 소재로 한 것이다. 또한, 수학적 지식 측면과 관련하여, 제시된 과제는 교육과정(교육부, 2015)에 제시된 수학의 내용 영역 중 자료의 정리와 해석에 속하는 데이터 모델링 과제이다. 주어진 기준에 맞는 과자를 선별하기 위해 과제에 제시된 여러 가지 정보를 수집, 분류, 종합, 해석하는 과정에서 막대그래프, 꺾은선그래프, 줄기와 잎 그림 등 정보처리를 위한 통계적 표현 및 평균, 가중 평균, 최빈값 등 정보해석을 위한 통계적 표현의 의미와 쓰임을 활용할 수 있다. 즉, 과제의 해결 과정에서 수학적 구성요소를 유도하는 등 수학적 지식을 접하게 된다.

마지막으로, [그림 Ⅳ-1]의 과제 해결 과정에서 다양한 통계적 표현이 제시될 수 있다는 점에서 다양한 표현을 공유하고 가장 적절한 표현을 선택, 종합하게 한다. 즉, 데이터 분석의 관점에 따라 평균, 최빈값, 가중평균 등 다양한 모델에 근거하여 다양하게 해석되고 다양한 답이 도출될 수 있는 과제이다. 이는 PMG-C2에 부합하며, 궁극적으로 집단 창의성이 발현될 수 있는 상황을 제공한다.

아래에서는 2015 개정 교육과정(교육부, 2015)과 선행연구(Lesh & Doerr, 2012; Lesh & English, 2010)에 근거하여, 학생들의 수학적 모델링 과정에 따른 과제 해결 경로와 과제 해결 경로에서 발생할 수 있는 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용을 살펴보고자 한다. 이는 학생의 가설학습경로를 사고실험 한 결과이기도 하다.

먼저, 학생들은 [그림 Ⅳ-1]의 각 조건을 살펴보기 위해 과자에 제시된 다양한 데이터를 사용할 수 있다. 예를 들어, 첫 번째 기준을 해결하기 위해 과자별로 열량, 지방, 탄수화물 등의 데이터를 제시할 수 있다. 이때, 상호보완적 상호작용을 통해 실생활 맥락에서 수립된 초기 데이터가 풍부해지는 등 집단 유창성이 발생하게 된다. 이후 단순화를 위해 여러 데이터 중 가장 중요한 데이터를 선별하게 되는데, 집단 내 구성원에 따라 중요하다고 생각하는 데이터에 차이가 발생하고 이는 갈등 기반 상호작용으로 이어진다. 이때, 학생들은 과자별 데이터의 분포를 비판적으로 분석하는 메타인지적 상호작용을 통해 가장 적절한 데이터 선별을 할 수

있다. 예를 들어, 수집한 자료를 막대그래프와 꺾은선그래프, 표 등을 이용하여 표현해 본 결과, 과자별 열량은 과자마다 차이가 크지만 지방은 과자에 따른 차이가 작으므로, 지방보다 열량을 과자 선택 기준으로 선정하는 것이 타당하다는 결정을 할 수 있다. 집단 정교성이 발생하는 것이다. 이와 같은 방식으로 승연이가 제시한 네 개의 기준마다 확인해야 하는 과자의 데이터와 그 순위를 추출한 뒤, 최고의 과자 선정을 위한 수학적 모델을 도출하게 된다. 학생들은 순위를 종합하기 위해 수학적 모델을 제시하게 되는데, 이때 평균, 최빈값 등을 활용할 수 있다는 상호보완적 상호작용이 나타나면서 집단 유창성이 발생한다. 이후 각 수학적 모델에 따라 선택되는 과자 역시 달라지면서, 모델 선택의 갈등이 발생하게 된다. 학생들은 이후 다양한 모델의 함의를 종합적으로 판단하는 메타인지적 상호작용을 통해 각 집단에서 가장 적절하다고 판단한 과자를 최고의 과자로 추천하게 된다. 결과적으로, 집단 정교성과 집단 독창성이 발생하게 된다.

1.2. 초기 활동지

활동지 문항은 [그림 Ⅱ-5]의 수학적 모델링 과정 순서에 맞추어 구성되었다. 또한, 집단 창의성 교육을 위한 수업 설계의 원리 중 활동지 구성과 관련된 원리인 PMG-C3, C4가 반영되었다. 구성된 초기 활동지 문항은 <표 Ⅳ-1>과 같다.

먼저, <표 Ⅳ-1>의 문항의 순서를 수학적 모델링 과정의 흐름에 맞추어 제시하였다(<표 Ⅳ-2> 참고). 또한, 각 단계가 연결되어 수행될 수 있도록 구성하였다. 예를 들어, 1번 문항에서 실세계 탐구를 한 뒤, 탐구한 상황에 비추어 2번에서 문제에 영향 미치는 요인을 찾는다. 3번에서는 2번에서 찾은 문제에 영향 미치는 요인을 수학적으로 다양하게 표현한다. 이때, 수학적 모델링 과정의 각 단계는 이전 단계에서 수행한 활동으로부터 이어지는데, 문항 구성 시 이를 안내하고자 하였다. 예를 들어, 3번 문항의 경우 '2번에서 필요하다고 생각한 정보를 모든 과자에 대해

서 구해봅시다.’라고 하여, 2번 문항에서 찾은 문제에 영향 미치는 요인을 수학적으로 표현할 수 있도록 하였다. 다른 문항 역시 같은 방식으로 구성하였다.

<표 Ⅳ-1> 초기 활동지 문항

활동지	문항
활동지 1	1번 문항 : 어떠한 상황인가요? 머릿속에 떠오르는 상황을 이야기해봅시다.
	2번 문항 : 주어진 상황을 해결하기 위해 어떠한 정보가 필요한지 이야기해 봅시다.
활동지 2	3번 문항 : 2번에서 필요하다고 생각한 정보를 모든 과자에 대해서 구해봅시다. 그리고 수집한 정보를 식, 그래프, 표 등 다양한 수학 표현을 이용하여 제시해봅시다.
활동지 3	4번 문항 : 2번과 3번 문항에 대한 답에 근거하여, 과자 선택 시 필요한 정보의 우선순위를 생각해 봅시다. 그 이유를 3번 문항에서 사용한 수학 표현을 이용하여 말해봅시다.
	5번 문항 : 3번에서 확인한 과자별 정보를 4번에서 선정한 우선순위에 맞추어 검토해봅시다. 이를 위해, 아래 각 소문항의 분석기준에 4번에서 선정한 우선순위를 순서대로 제시하고, 각 분석기준에 따를 때 어떤 과자를 선정할 수 있는지 3번을 참고하여 적어봅시다.
활동지 4	6번 문항 : 지금까지 확인한 과자별 정보와 정보의 우선순위를 종합적으로 이용하여 최고의 과자를 선택하고, 선택한 이유를 말해봅시다.
	7번 문항 : 6번의 결과를 바탕으로 타당한 근거와 함께 최고의 과자를 추천하는 편지를 모둠별로 제공된 A4용지에 작성해 봅시다.

문항 해결 과정에서 집단 창의성이 발현될 수 있도록 활동지 구성 시 PMG-C3, C4를 반영하였다. 아래의 <표 Ⅳ-2>는 <표 Ⅳ-1>에 제시된 각 문항의 수학적 모델링 활동 단계에서 맞추어 <표 Ⅱ-2>에 제시된 수학적 모델링 단계별 기대되는 주된 상호작용과 창의적 시너지를 나타낸 것이다. <표 Ⅱ-2>의 내용을 <표 Ⅳ-1>의 문항 구성에 반영한 것이다. 예를 들어, 6번 문항은 ‘수학적 모델 도출’ 단계에 해당하는 것으로, 발현될 것으로 기대되는 주된 상호작용과 창의적 시너지는 각각 상호보

<표 Ⅳ-2> 각 문항의 해결 과정에서 기대되는 주된 집단 창의성

문항	수학적 모델링 과정	기대되는 집단 창의성	
		기대되는 주된 상호작용	기대되는 주된 창의적 시너지
1번	실세계 탐구	상호보완적	- 집단 유창성 : 집단의 사고 확장
2번	문제에 영향 미치는 요인 찾기		
3번	수학적으로 다양하게 표현하기	상호보완적 갈등 기반 메타인지적	- 집단 융통성 : 관점의 전환 - 집단 유창성 : 집단의 사고 확장 - 집단 정교성 : 사고 검증과 타당화 : 모델의 정교화
4번	단순화하기		
5번	요소 사이 관계 찾기		
6번	수학적 모델 도출 수학적 결과 실세계 적용	상호보완적 메타인지적	- 집단 유창성 : 다양한 모델 제시 - 집단 정교성 : 모델의 정교화
7번	최종 모델 도출	메타인지적	- 집단 정교성 : 사고 검증과 타당화 : 모델의 정교화

완적, 메타인지적 상호작용과 집단 유창성, 집단 정교성이다. 이를 위해, 6번 문항을 '지금까지 확인한 과자별 정보와 정보의 우선순위를 종합적으로 이용하여 최고의 과자를 선택하고, 선택한 이유를 말해봅시다.'와 같이 구성하였다. 모둠 구성원들이 함께 이야기 나누면서 우선순위를 종합적으로 이용하는 방법을 제시하는 과정에서 다양한 사고가 수합되는 상호보완적 상호작용을 하며 이를 통해 집단 유창성이 유도되는 것을 의도한 것이다. 나아가 모델 선택의 이유를 평가하는 메타인지적 상호작용을 하며 이를 통해 집단 정교성이 유도되는 것을 의도하였다.

더불어, 활동지의 답안 작성 방식에도 PMG-C4를 반영하였다. 예를 들어, 2번 문항은 '문제에 영향 미치는 요인 찾기' 단계에 해당하는 것으로, 활동지의 답안 작성란에 7개의 칸을 제시함으로써 상호보완적 상호작용을 통한 집단 유창성이 유도되는 것을 의도하였다.

한편, 수학적 모델링 과제의 제공이나 집단 구성을 통한 모델링 활동이 집단 창의성 발현으로 바로 이어지는 것을 보장하지는 않는다. Lozano(2017)와 Hogan(1999) 역시 소집단 구성 자체만으로 의미 있는 활동이 일어난다고 볼 수 없으며, 성공적인 소집단 활동을 위한 교수설계가 이루어져야 함을 명시한 바 있다. 수업 설계의 초점에 부합하는 과제의 제공뿐 아니라, 교사의 지도와 학생 역할분담, 활동 규범 등 수업을 구성하는 다양한 측면에서의 수업 설계가 필요한 것이다(Hogan, 1999). 이에 따라, 아래에서는 PMG-C1, C5, C6 등 교사 역할과 학생 역할분담, 활동 규범으로 볼 수 있는 활동지 수행방식 등에 대한 수업 설계의 원리를 반영한 수업의 설계 방향을 제시하고자 한다. 구체적으로, 학생 역할분담에 따른 집단 구성 방안을 제시하고, 교사 역할과 활동 규범이 반영된 수업 환경 조성 방안과 교사지도안 및 수업설계안을 제시한다.

1.3. 집단 구성과 역할분담을 위한 초기 설문지

성공적인 집단 활동을 위해서는 집단 구성원에 대한 양적, 질적 측면에서의 고려가 요구된다. 먼저, 양적인 측면에서, 선행연구(강홍숙, 강만철, 2006; 조무정, 진석언, 2016)는 학교 상황에서 수학적 모델링, 집단 창의성 발현 등의 활동을 하기에 가장 적합한 집단의 크기로 2명~4명을 제안한다. 이와 더불어, 본 연구에서 추측한 수업 설계의 원리 중 학생 역할과 관련한 GMP-C6에서는 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계 시 학생들에게 3가지 서로 다른 역할 부여가 필요함을 확인하였다. 이에 따라, 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 활동 시 3~4명의 학생으로 구성된 집단 조직이 요구된다고 판단할 수 있다.

다음으로, 질적인 측면과 관련하여, 다양한 인지적 배경을 지닌 학생들로 집단이 구성되어야 한다. 이는 GMP-C6이 제시하고 있듯이 서로 다른 3가지 역할 부여에 각각 어울리는 성향의 학생들로 집단이 구성되어야 함을 의미한다. 이에 따라, 본 연구에서는 수업 활동을 이끌어가는 집단 구성원의 인지적 다양성과 역할의 적합성을 확인하기 위하여 설문지

<표 Ⅳ-3> 집단 구성과 역할분담을 위한 초기 설문지

범주			설문 문항	문항 개수
상위 범주	하위 범주	최하위 범주		
수학 인지적 영역	수학적 모델링 역량	(개인) 부분 역량	나는 실생활 문제를 이해할 수 있다.	9
			나는 문제를 풀기 위해 필요한 정보를 구별할 수 있다.	
			나는 문제를 간단하게 정리할 수 있다.	
			나는 문제를 풀 때 필요한 정보 사이의 관계를 확인할 수 있다.	
			문제를 풀기 위해 적당한 수학적 표현(식, 그래프, 표, 도형 등)을 이용할 수 있다.	
			나는 수학적 개념을 이용해서 실생활 문제를 풀 수 있다.	
			나는 수학적 결론을 실생활 상황에 맞추어 설명할 수 있다.	
			나는 문제를 푼 과정이 올바른지 검토할 수 있다.	
			나는 문제풀이가 옳지 않다고 생각되면 풀이과정을 다시 살펴보면서 잘못된 곳을 찾을 수 있다.	
		(개인) 메타인지역량	나는 문제를 풀 때 풀이의 전체 과정을 먼저 생각해볼 수 있다.	3
			나는 문제를 풀면서 나의 행동을 다시 생각해 볼 수 있다.	
			나는 친구의 풀이와 나의 풀이를 비교할 수 있다.	
		(집단) 메타인지역량	나는 친구들과 함께 문제를 풀면서 전체 과정을 같이 예상해볼 수 있다.	3
			나는 친구들과 함께 문제를 풀면서 풀이과정에 대해 서로 이야기할 수 있다.	
			나는 친구들과 함께 선택한 최종 풀이 외에 다른 풀이에 대해 서로 이야기할 수 있다.	
	수학적 의사소통 능력		나는 문제풀이과정을 친구에게 설명할 수 있다.	2
			나는 수학적 표현(식, 그래프, 표, 도형 등)을 이용해서 문제풀이과정을 친구에게 설명할 수 있다.	
소집단 활동 경험	소집단 활동 경험		수학 시간에 친구와 도움을 주고받으며 문제를 해결해 본 경험이 있다.	2

		수학 시간에 모둠 활동을 해본 경험이 있다.	
	의사소통 방식	모둠 활동을 할 때, 나는 내 생각을 자유롭게 말할 수 있다.	8
		모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람이 자유롭게 말할 수 있는 편안한 분위기를 만든다.	
		모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람의 생각과 유사한 생각을 떠올릴 수 있다.	
		모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람의 의견에 흔들리지 않고 내 생각을 유지할 수 있다.	
		모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람의 의견에 반대 의견을 제시할 수 있다	
		모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람의 의견이 타당한지 점검할 수 있다.	
		모둠 활동 중 문제풀이에 어려움이 발생한 경우, 어려움을 해결하기 위해 나는 주로 (같은 모둠의 친구/ 선생님)의 의견을 듣는 편이다.	
		모둠 활동을 할 때, 나는 다른 구성원의 의견에 대해 주로 (비슷한 의견을 제시/ 반대 의견을 제시/ 여러 의견을 비판적으로 평가 혹은 종합)하는 편이다.	
총합			27

를 구성하였다. 설문지는 아래와 같이 선행연구를 토대로 구성되었으며, 구성된 설문지는 연구자가 포함된 연구공동체에 의해 검토되었다. 구성된 설문지는 <표 Ⅳ-3>과 같다.

먼저, 설문 문항은 지금까지의 논의에 비추어 학생들의 ‘수학 인지적 영역 측면의 다양성’과 ‘소집단 활동 경험의 다양성’이라는 두 가지 범주로 구분하였다. 각 범주는 다시 하위범주로 구성되는데, ‘수학 인지적 영역 측면의 다양성’ 범주는 ‘수학적 모델링 역량’, ‘수학적 의사소통 능력’의 2개 하위범주로 나누어진다.

‘수학적 모델링 역량’은 수학적 모델링 과정을 수행할 수 있는 능력과 태도를 의미(Kaiser, 2017; Ludwig & Xu, 2010)하는 것으로, 이는 크게 개인의 부분역량과 메타인지역량 및 집단의 메타인지역량으로 나누어진다(Maaβ, 2006; Vorhölter et al., 2017). 개인의 부분역량이란 모델링 과

정의 각 단계를 수행할 수 있는 개인의 역량을 의미하며, 개인의 메타인지역량이란 자신의 생각을 생각하고 자신의 사고과정을 통제하는 역량을 의미한다(Maaβ, 2006). 그리고 집단의 메타인지적 모델링 역량이란 집단이 보유한 인지적 능력으로, 수학적 모델링을 수행할 수 있는 집단의 수학적 모델링 역량을 의미한다(Vorhölter et al., 2017). 개인의 부분역량과 메타인지적 역량이 모델링 과정의 각 단계를 수행할 수 있는 개인의 모델링 역량을 의미한다면, 집단의 메타인지적 모델링 역량은 집단 자체가 지닌 역량을 의미한다(Vorhölter, 2018). 이들 두 역량과 관련하여, Vorhölter(2018)는 집단의 모델링 역량이 개인 역량을 합한 것 이상의 역량임을 강조하며, 성공적인 모델링 과제 해결을 위해서는 개인이 아닌 집단의 모델링 역량, 즉, 집단의 메타인지적 모델링 역량이 중요하다고 하였다. Chalmers(2009) 역시 그동안 집단 내 개인의 역량에 집중함으로써 집단 활동을 통해 나타나는 지식 생성의 역동성을 놓쳤다고 비판한 바 있다. 성공적인 수학적 모델링 활동을 위해 학생들이 자신의 지식과 모델링 역량을 집단 내에서 함께 나누고, 계획하고 점검하는 과정이 되어야 한다(Artzt & Armour-Thomas, 1992).

집단 구성을 통해 모델링 활동을 수행하고자 하는 본 연구는 이들 선행연구의 관점을 받아들여, '수학적 모델링 역량' 범주를 다시 '개인의 부분역량' 및 '개인의 메타인지역량'과 '집단의 메타인지적 모델링 역량'의 세 가지 최하위범주로 나누어 제시하였다. 각 범주에 해당하는 구체적인 설문 문항은 <표 Ⅳ-3>과 같다. 이들 설문 문항은 Maaβ(2006)와 Vorhölter et al(2017) 및 Vorhölter(2018)를 참고, 변형하였다.

다음으로, '수학적 의사소통 능력'이란 수학적 아이디어를 이해하고 수학적 용어나 기호를 이용해서 자신의 아이디어를 다양한 수학적 표현으로 나타내고 논리적으로 설명할 수 있는 능력을 의미한다(오영열, 오태욱, 2009). 집단 내 상호작용을 위해서는 집단 구성원의 의사소통이 필수적으로 요구된다. 특히, Lesh & Doerr(2012)에 따르면 수학적 모델링 과제 해결 시 다양한 수학적 표현을 이용한 의사소통이 요구되는바, 이에 대한 학생의 능력을 확인하고자 하였다.

또 다른 상위범주인 ‘소집단 활동 경험’ 범주는 다시 ‘소집단 활동 경험’과 ‘의사소통 방식’의 2개 하위범주로 나누어진다. ‘소집단 활동 경험’은 소집단 활동 경험의 유무를 확인하기 위함이다. 집단 구성원 모두 소집단 활동을 경험하지 않은 경우, 집단 내 의견을 제시하고 타인의 의견을 수용하는 데 어려움을 느낄 수 있으므로 경험의 다양성을 고려할 필요가 있다고 판단하였다. ‘의사소통 방식’은 집단 내 자연스러운 의사소통 분위기 조성 및 학생들의 역할 부여와 직접적으로 관련된다. 자연스러운 의사소통 분위기에 대한 확인은 사고 공유를 위해 자유로운 토론환경이 필요하다는 Paulus & Yang(2000)의 의견을 따른 것이다. 의사소통 방식은 역할분담을 위해, 학생들이 소집단 활동에 참여하는 태도를 확인하기 위함이다. 이를 통해 학생들에게 역할 부여를 할 때 학생들의 성향에 가장 적절한 역할을 부여하고자 하였다.

각 범주의 문항 수는 선행연구의 제언을 참고하여 결정하였다. Ⅱ장에서 살펴보았듯이, 집단 구성 시 이질적인 집단의 구성 자체가 아닌 이질적인 집단 내 서로 다른 관점의 공유가 중요하다(Paulus, 2000). 이 제언에 따라, 본 연구 역시 집단 구성 시 개인의 역량의 다양성보다 의사소통 방식과 집단 활동 경험에 좀 더 중점을 두고자 하였다. 그 결과, <표 Ⅳ-3>에서 확인할 수 있듯이, 개인의 역량을 보여주는 개인 부분역량과 개인 메타인지역량의 문항(12문항)보다 집단 메타인지역량과 소집단 활동 경험과 관련한 문항(15문항)의 수와 유형을 다양화하였다. 문항은 대부분 5점 척도의 리커트 문항으로 구성하였으며, 하위범주 중 ‘소집단 활동 경험’에 속하는 문항은 경험 여부 선택 문항으로, ‘의사소통 방식’의 마지막 두 문항은 괄호 안의 내용 중 가장 적절한 내용을 선택하는 문항으로 구성하였다.

이론적 검토를 토대로 구성된 설문지는 수학교육 연구자를 포함한 수학연구공동체에서의 수차례에 걸친 회의를 통해 검토되었다. 여러 번에 걸친 검토를 통해 문항이 학생들의 인지적 다양성과 의사소통 방식을 확인하는 데 적절한지 여부를 확인하였다. 특히, 학생들의 역할분담을 위해 사고제시자, 갈등유발자, 사고종합자를 구별하는 데 적절한지 여부를 확

인하였다.

집단 구성과 역할분담을 위해 <표 Ⅳ-3>을 활용할 경우 설문 결과를 종합적으로 고려해야 한다. 위에서도 강조하였듯이, 우선적으로 고려해야 할 부분은 의사소통 방식으로, 해당 결과에 따라 학생들의 역할분담을 정한다. 이는 수학적 모델링을 통한 집단 창의성 발현 시 상호작용을 통한 다양한 사고 공유가 핵심적이라는 Sawyer(2007)의 견해를 따른 것이다. 이후, 한 집단에 각 역할분담에 속한 학생들이 최소한 한 명 이상 배치되도록 한다. 이때 수학 인지적 영역을 고려하여 배치하는데, 특히 소집단 메타인지역량과 수학적 의사소통 능력이 다양한 학생들로 구성될 수 있도록 한다. 이는 집단 창의성 발현을 위해 개인의 역량보다 집단의 역량과 집단 내 관점의 공유가 중요하다는 Vorhölter et al(2017), Paulus(2000) 등 선행연구의 견해를 따른 것이다.

1.4. 환경 조성

Leikin & Pitta-Pantazi(2013)에 따르면, 창의성 교육을 위해서는 창의성을 발현시킬 수 있는 학습 환경이 중요하다. 구체적으로, Ⅱ장의 이론적 배경에서 확인했듯이, 학습 환경은 다양한 사고에 대해 개방적이고 긍정적이며 자유로운 토론 분위기를 제공해야 한다. 이는 교사의 역할과 활동지, 활동 규범이 되는 활동지 수행 방식 등을 통한 제도적 설계로 보완될 수 있다. 활동지 구성은 앞의 절에서 살펴보았으며 여기에서는 교사 역할과 활동 규범을 제시한다.

먼저, 교사 역할에는 PMG-C1이 반영되어야 한다. 즉, 교사는 답을 유도하는 명시적인 설명보다 적절한 발문을 통해 학생 스스로 수학적 개념과 아이디어를 창안해낼 수 있도록 안내해야 한다(Nadjafikhah, Yaftian, & Bakhshalizadeh, 2012). Johnson & Johnson(1990) 역시 소집단에 대한 교사의 칭찬과 격려가 필요하며, 집단 내 긍정적인 상호의존성이 조성되도록 해야 함을 주장하였다. 이때 긍정적인 상호의존성이란 서로의 노력이 서로에게 도움이 된다는 긍정적인 인식을 하는 것으로, 서로의

능력과 할당된 역할에 의존하여 공통적인 목적을 추구한다.

더불어, 적극적인 상호작용을 위해, 학생들은 자신의 아이디어를 제시하는 데 두려움이 없어야 한다. 이를 위해 실패에 안전한 환경을 만드는 것도 필요하다. 오답의 가능성이 있더라도 자신의 의견을 공유하고 계속 도전할 수 있는 분위기, 동료의 오류를 인정하는 분위기를 형성해야 한다(Luria et al., 2017; Sriraman, 2005). 이를 위해, 학생들의 활동 규범에 PMG-C5를 반영하여, 학생들이 다양한 사고에 대해 개방적인 태도를 갖도록 한다.

1.5. 초기 교사지도안과 수업설계안

초기 교사지도안과 수업설계안은 각각 [그림 Ⅳ-2], [그림 Ⅳ-3]과 같다. 교사지도안과 수업설계안 구성에는 문헌 분석을 통해 도출된 여섯 가지 수업 설계의 원리가 복합적으로 반영되었다.

먼저, 교사지도안에는 PMG-C4를 반영하여 각 문항에 해당하는 수학적 모델링 단계와 각 문항에서 발생할 것으로 예상되는 상호작용을 제시하였다. 또한, PMG-C1을 반영하여, 예상되는 학생 반응과 예상 반응에 교사가 대처하고 학생들의 활동에 도움을 줄 수 있는 방안(프롬프트)을 제시하고, 해당 문항 지도 시 추가로 염두에 두어야 할 부분에 대한 안내와 교사 역할을 제시하였다. 예를 들어, [그림 Ⅳ-2]에는 4번 문항 활동지 안내를 위한 교사지도안이 제시되었다. 문항에 4번 문항 활동 시 발생할 것으로 기대되는 상호작용 유형인 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용(<표 Ⅳ-2> 참고)을 표기하였다. 그리고 4번 문항이 [그림 Ⅱ-5]에 제시된 수학적 모델링 단계의 ‘단순화하기’ 단계에 해당함을 표기하였다. 단순화하기 단계에서 나타날 것으로 예상되는 학생들 반응을 제시하였는데, 이는 관련 선행연구인 Doerr & English(2003)에서 수학적 모델링 활동 시 실세계 경험에 근거한 현실적인 이유가 제일 먼저 제시된다고 언급한 연구결과를 반영한 것이다. 예상 반응이 나타나거나 혹은 나타나지 않을 경우, 교사가 제공할 프롬프트를 제시하였다. 이때 프롬프

트 제공 방식도 함께 제시하였다. 교사가 안내자 역할을 하는 만큼, 문항에 대한 답이나 더 고려해야 할 사항을 직접적으로 제시하지 않고, 집단 구성원 간의 상호작용을 유도하여 예상 반응에 대해 집단 내에서 스스로 대처할 수 있도록 안내할 것을 강조하였다.

[그림 Ⅱ-5]

4. **<단순화하기>** 2번과 3번 문항에 대한 답에 근거하여, 과자 선택 시 필요한 정보의 우선순위를 생각해 봅시다. 그 이유를 3번에서 사용한 수학 표현을 이용하여 말해봅시다.

(상호보완적/갈등기반/메타인지적 상호작용)

<표 Ⅳ-2>, PMG-C4

※ 3번 활동을 통해 구한 항공사 별 자료를 종합적으로 분석하기 전, 어떤 데이터를 중점적으로 보는 것이 좋을지에 대해 대탐적인 논의를 하는 과제입니다. 학생들은 4번과 5번을 반복하면서 과제를 해결해 나갑니다.

1. 예상 반응
- 본인이 심리적으로 중요하다고 생각하는 정보를 제시한다.
- 판단의 수학적인 이유를 제시한다. : 꺾은선 그래프나 표를 보면, 과자에 따라 차이가 큰 항목이 존재한다. 차이가 큰 항목을 우선순위로 두는 것이 좋다.
- Ex1. 차이가 작은 항목(트랜스지방)은 과자에 따라 비교해봤자 큰 차이가 없으므로 비교기준으로 삼기에 적절하지 않다.
- Ex2. 콜레스테롤은 대부분 0이므로 비교기준으로 삼기에 적절하지 않다.
- Ex3. 화학제품 : 있고 없고를 알 수 있을 뿐, 함량을 모르기 때문에 높은 우선순위로 두는 것은 적절하지 않다. 혹은, 0~1개까지는 괜찮고, 2개는 고려해 보고, 3개 이상은 아예 제외하는 기준을 제시할 수 있다.

2. 가능 프롬프트
- 본인이 심리적으로 중요하다고 생각하는 정보를 제시하는 경우 : 왜 중요한지에 대해 기초적이더라도 수학적으로 판단하여, 우선순위를 제시하도록 한다. 기사로 접한 정보 등을 이용하여 왜 심리적으로 해당 정보가 중요하다고 생각하는지 분석하도록 한다.

3. 확장 프롬프트
- 본인이 심리적으로 중요하다고 생각하는 정보를 제시하는 경우 : 왜 중요한지에 대해 수학적으로 판단하여, 우선순위를 제시하도록 한다. 예를 들어, 열량이 중요하다는 다른 친구들과 달리 나트륨 함유량이 제일 중요하다고 판단한 경우, '과자 선택기준에 있어서, 나트륨은 첫 번째 기준과 세 번째 기준에 모두 해당하는 정보'라고 답한다.

4. 상호작용 지원 방향
- 상호보완적 상호작용 : 트랜스지방, 콜레스테롤, 지방 등 우선순위로 둘 수 있는 다양한 정보를 자유롭게 제시하도록 한다.
- 갈등 기반 상호작용 : 제시된 정보가 적절하지 않은 이유를 자유롭게 제시하도록 한다. (예. 콜레스테롤은 대부분 0이므로 비교기준으로 삼기에 적절하지 않다.)
- 메타인지적 상호작용 : 비판과 옹호 의견을 종합하여 가장 적절한 정보를 우선순위로 선택하게 한다. (예. 콜레스테롤이 대부분 0이긴 하나 1번과 3번 기준에 모두 속하므로 필요하다.)

PMG-C1

[그림 Ⅳ-2] 초기 교사지도안

수업설계안은 위에서 개발한 자료들을 종합적으로 이용하여 설계된 수업의 흐름을 보여준다. 수업설계안은 교사의 수업 준비를 돕고 궁극적으로 학생의 성공적인 학습을 위한 것으로, 사고실험 결과를 바탕으로 주어진 과제에 대한 학생들의 가설학습경로를 제시한다. 제시된 과제가 학

생들의 학습을 유도(Henningsen & Stein, 1997)한다면, 교사는 과제 해결을 돕는 발문과 활동지를 통해 가능 프롬프트와 확장 프롬프트를 제공함으로써 학생들의 학습경로를 안내하게 된다(Sullivan et al., 2006). 본 연구에서는 교사지도안([그림 Ⅳ-2] 참고)을 별도로 구성하여 각 문항에 대한 학생들의 가설학습경로와 교사의 발문을 제시하였으며, 수업설계안에서는 총 7개 문항으로 구성된 활동지를 해결하는 과정에 대한 전반적인 가설학습경로를 사고실험한 결과를 제시하였다. 이 외에도 수업설계안에는 지금까지 논의한 환경 조성 방안과 학생의 역할분담 등을 반영하여, 집단 창의성 발현을 위한 수학적 모델링 수업의 전반적인 흐름을 파악할 수 있도록 하였다.

영역	통계	핵심 개념	자료의 정리와 해석	대상 학년	중학생 이상
수학적 모델링 과제	최고의 과자 찾기 문제([그림 Ⅳ-1] 참고)				
학습 목표	· 실세계 상황 해결을 위해 통계 영역에서 수학적 모델을 모둠원들과 공동으로 구성하고 적용할 수 있다.				
수업 맥락	3~4명 모둠 구성, 공학적 도구 제공, 상호작용에 우호적인 분위기, 긍정적인 상호의존성 조성				

수업 전개	주된 상호작용	교수·학습 활동	활동지	학생의 주된 역할분담
환경 조성		1) 집단 활동의 환경 조성 - 상호작용에 우호적이고 긍정적인 분위기 조성 : 칭찬, 격려, 생각의 강요와 무시 금지, 상대방의 오류 인정 2) 집단 구성(<표 Ⅳ-3>의 설문조사 활용) - 집단 구성원의 인지적 다양성 고려, 역할분담		
도입 활동		3) 동기유발 및 관련 내용과 활동 안내 - 목표과제보다 간단한 상황의 과제 : 삼각김밥을 구매하려고 한다. A 삼각김밥은 50g이고 2500원이다. B 삼각김밥은 70g이고 3000원이다. 여러분은 어떤 삼각김밥을 구매하겠습니까? - 모둠별 문제해결과정에 대한 간략한 논의	도입용 활동지	
실세계 탐구	상호보완적	4) 문제 상황 이해(1번 문항) - 주어진 자료와 구하고자 하는 것에 대한 이해	활동지1	사고제시자
문제에 영향 미치는 요인 찾기		5) 과자 선택을 위해 필요한 정보 찾기(2번 문항) - 과자별로 열량, 가격, 각종 영양성분의 함량과 비율, 화학제품 포함여부 등의 정보가 필요함을 인식		
수학적으로 다양하게 표현하기	상호보완적 갈등 기반 메타인지적	6) 과자별로 필요한 정보 모두 찾기(3번 문항) - 2번에서 필요하다고 생각한 정보를 수학적 표현을 이용하여 모든 과자에 대해 구함 - 예> B의 경우 열량 260kcal, 나트륨 함량 200mg(10%), 화학제품 4개 첨가 등의 정보 도출	활동지2	사고제시자 갈등유발자 사고종합자
단순화하기		7) 과자 선택의 기준이 되는 정보 선정하기(4번 문항) - 3번에서 구한 결과에 근거하여, 최고의 과자 선택의 기준이 되는 정보(열량, 가격 등)의 우선순위 결정 - 예> 콜레스테롤은 대부분 없으므로 우선순위가 낮고, 열량은 차이가 크므로 우선순위가 높을 수 있음 - 우선순위의 타당성 평가 : 비난이 아닌 비판 강조	활동지3	
요인 사이 관계 찾기		8) 정보의 우선순위에 따른 과자 순위 정리(5번 문항) - 우선순위 별로 가장 적절한 과자 선정	활동지3	
수학적 모델 및 결과 도출, 실세계 적용	상호보완적 메타인지적	9) 모델 선택과 모델의 적절성 평가 안내(6번 문항) - 5번 결과를 종합하여 적절한 과자 선택 - 선택의 타당성 평가 : 비난이 아닌 비판 강조	활동지4	사고제시자 사고종합자
최종 모델 도출		10) 최종 산출물인 편지쓰기(7번 문항) - 6번 문항의 답을 토대로 편지쓰기 - 과자 선택의 수학적인 이유 제시	활동지4	

PMG-C2

PMG-C1, PMG-C5

PMG-C3, PMG-C4, <표 Ⅳ-2>

PMG-C6

[그림 Ⅳ-3] 초기 수업설계안

구체적으로, 교사는 [그림 Ⅳ-1], [그림 Ⅳ-2], [그림 Ⅳ-3]과 <표 Ⅳ-1>, <표 Ⅳ-6>을 다음과 같이 이용하여 수업을 준비할 수 있다. 예를 들어, [그림 Ⅳ-1]의 수학적 모델링 과제를 해결하기 위해 <표 Ⅳ-1>에 제시된 활동지3의 4번 문항을 수행하고자 하는 교사는 [그림 Ⅳ-2]의 교사지도안을 이용하여 4번 문항이 수학적 모델링 과정의 '단순화하기' 단계에 해당하는 문항이라는 사실을 확인하고, [그림 Ⅳ-3]의 수업설계안을 참고하여 전체적인 활동과정에서 해당 문항이 갖는 의미를 파악한다. 또한, 학생들이 이 단계에서 문제에 영향 미치는 주요 요인을 찾고 문제 상황을 단순화하며, 이 과정에서 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 필요하기 때문에 해당 문항을 통해 이 세 가지 유형의 상호작용을 유도해야 한다는 사실을 확인한다. 이후 [그림 Ⅳ-2]와 [그림 Ⅳ-3]을 참고하여 해당 상호작용을 유도하기 위해 사고제시자, 갈등유발자, 사고종합자로서 학생들의 역할분담 수행이 모두 이루어져야 함을 확인하고, <표 Ⅳ-6>의 설문지를 이용한 집단 구성 및 역할분담이 필요함을 인지한다. 최종적으로, 교사는 4번 문항 해결을 위해 요구되는 상호작용과 역할분담 수행을 유도하는 방향의 수업을 진행한다. 문항에서 요구하는 활동을 확인한 교사는 이후 수업 진행 과정에서 [그림 Ⅳ-2]를 통해 4번 문항에 대한 학생들의 예상 반응을 확인한다. 그리고 예상 반응을 유도하기 위한 프롬프트를 확인한다. 이때, [그림 Ⅳ-2]에 제시된 교사 역할을 참고하여, 문항에서 요구하는 답을 직접 유도하기보다 학생들에게 역할분담을 수행할 것을 안내하면서 집단 내 상호작용을 유도한다.

2. 전문가 평가 결과

<표 Ⅲ-1>의 전문가 집단에는 위에서 개발한 자료(수학적 모델링 과제, 활동지, 집단 구성과 역할분담을 위한 설문지, 교사지도안, 수업설계안)가 모두 제공되었다. <표 Ⅲ-2>의 설문지를 이용하여 이들 자료에 대해 전문가가 평가한 결과는 다음의 <표 Ⅳ-4>와 같다.

<표 Ⅳ-4> 전문가 평가 결과

문항	평균	표준편차	문항	평균	표준편차
1	5	0	8	3.8	0.84
2	4.6	0.89	9	4.2	0.45
3	5	0	10	5	0
4	4.2	0.84	11	4.8	0.45
5	4	0.71	12	4	0.71
6	4.2	0.84	13	4.2	0.45
7	4.6	0.55	14	4.2	0.45
			15	4.4	0.89
문항	주요 답변				
16	- 중학생 대상으로 볼 때, 언어 표현이 어렵다(예를 들어, 화학제품). 전체적인 질문을 학생 수준에 맞추어 쉽게 고치는 것이 필요하다. - 학생들이 교사 말을 못 듣는 경우가 있으므로, 모둠 활동이나 상호 보완적 상호작용 등 원하는 활동을 활동지에 직접 제시하는 것이 필요하다. - 각 문항의 해결 과정에서 학생들에게 제공할 예시를 준비해야 할 것 같다. - 프롬프트 제공 방식을 더 정교화하면 좋을 것 같다. - 역할 수행이 이루어지지 않는 경우 교사가 역할분담을 유도하는 방법이 안내되어야 할 것 같다.				

평가 결과에 따르면, 8번 문항을 제외한 모든 문항에서 4점이 넘는 평가를 받았다. 좀 더 구체적으로, 가장 좋은 평가를 받은 문항은 1, 3, 10번 문항으로, 이들은 각각 수학적 모델링 과제에서 실세계 반영의 적절성과 다양한 답의 구성 가능성, 그리고 상호작용에서의 지식공유 가능성에 해당한다. 이는 각각 PMG-C2, C3, C5를 반영한 것으로, [그림 Ⅳ-1]에 제시된 과제가 학생들에게 다양한 답을 구할 수 있게 하는 수학적 모델링 과제로서 역할을 할 수 있음을 보여준다. 또한, 다양한 답에 대한 집단 구성원 간 지식공유가 이루어질 수 있는 환경 조성이 수업 설계에 잘 반영되어 있음을 보여준다. 1, 3, 10번 문항에 이어 좋은 평가를 받은 11번 문항 역시 수업 설계에 갈등 기반 상호작용이 잘 반영되었음을 보여주는데, 이는 3번 문항에서 다양한 답의 구성 가능성이 구성원 간의

갈등 기반 상호작용으로 연결될 수 있음을 보여준다.

반면, 상대적으로 낮은 평가를 받은 문항은 8, 5, 12번 문항이다. 8번의 경우 PMG-C6이 반영된 학생의 역할분담에 해당한다. 학생들의 역할분담은 수업설계안의 '학생의 주된 역할분담'을 통해 안내되었는데, 좀 더 구체적인 안내가 필요함을 알 수 있다. 이를 개선하기 위해, 교사지도안에 각 문항에서 요구되는 학생의 주된 역할분담을 제시하고 해당 역할분담을 통해 나타날 수 있는 문항에 대한 예상 답안을 제시하였다.

5번과 12번의 경우 각각 수학적 모델링 과정에서의 수정, 보완, 그리고 갈등 기반 상호작용의 긍정적인 해결 가능성에 해당한다. 갈등에 대한 긍정적인 해결(12번)은 궁극적으로 수학적 모델링 과정의 각 단계에서 이루어지는 수정, 보완(5번)과 연결되는 것으로, 종합하면, 상호작용 과정에서 발생한 갈등을 메타인지적 상호작용으로 연결하면서 모델링 활동을 수정, 보완할 수 있는 안내가 부족함을 알 수 있다. 이는 PMG-C4를 반영한 것으로, 활동지의 구성 및 교사지도안의 프롬프트 제공과 관련된 부분이다. 이를 개선하기 위해, 교사지도안에 활동지 문항 별로 요구되는 활동에 대한 좀 더 구체적인 안내를 제시하였으며, 활동지 문항을 구체적인 활동을 제시하는 방향으로 수정하였다.

자유 응답에서는 학생들의 활동을 유도 및 지원하기 위한 활동지 구성과 교사의 역할에 대한 의견, 즉 PMG-C1, C4의 강화의 필요성에 대한 의견이 주로 제시되었다. 먼저, 활동지 구성 측면에서, 제시된 활동 문항이 학생들에게 낯설거나 어렵게 느껴질 수 있음을 확인할 수 있었다. 이를 개선하기 위해, 자유 응답에 제시된 의견을 반영하여 활동지 발문에 사용된 언어의 수준을 낮추고 발문에서 요구하는 학생 활동을 문항에 구체적으로 제시하였다. 예를 들어, 수학적 모델링 활동의 수학적으로 다양하게 표현하기 단계를 수행할 수 있도록, 활동지2의 3번 문항 뒷부분에 '예를 들어, 기준1에 맞는 과자를 선택하는데 필요한 정보가 열량이라고 생각한다면, '필요한 정보 : (열량)'을 기재하고 모든 과제의 열량을 수집한 뒤 수집한 값들을 표나 그래프로 표현합니다.'를 추가로 제시하여 요구하는 활동의 사례를 구체적으로 안내하였다. 또한, 문항에서 요구하는

상호작용을 유도하기 위하여, 활동지1의 2번 문항 뒷부분에 ‘가능한 많은 정보를 제시합니다.’를 추가로 제시하여 요구하는 활동[25]을 구체적으로 안내하였다(<표 Ⅳ-5> 참고).

다음으로, 교사 역할 측면에서, 학생들의 활동을 지원하기 위한 구체적인 프롬프트가 필요함을 확인하였다. 이를 개선하기 위해, 자유 응답에 제시된 의견을 반영하여 교사지도안에 프롬프트의 구체적인 예를 제시하였다. 또한, 상호작용을 유도하기 위한 발문의 구체적인 예를 제시하였다. 예를 들어, 수학적 모델링 활동의 단순화하기 단계를 수행할 수 있도록, 활동지3의 4번 문항에 대한 교사지도안의 가능 프롬프트에 ‘3번 문항에 제시된 수학적 표현(예. 꺾은선그래프)을 보고 과자에 따라 차이가 큰 정보와 차이가 작은 정보를 판단하고, 어떤 정보를 우선순위로 두는 것이 효과적인지 모둠 구성원들끼리 이야기를 나누도록 한다.’와 같이 구체적인 발문의 예를 제시한다.

수정 방향과 결과에 대한 좀 더 자세한 안내는 다음 절에서 제시한다.

3. 수업 및 자료 수정 결과

여기에서는 초기 개발된 수학적 모델링 과제와 활동지 및 집단 구성을 위한 설문지, 그리고 교사지도안이 전문가 평가를 거쳐 수정된 결과를 제시한다. 개발된 자료의 수정은 곧 수업설계안의 수정, 즉, 설계된 수업의 수정을 의미한다.

3.1. 전문가 평가 후 수정된 수학적 모델링 과제

전문가 평가 결과, 다양한 답의 구성이 가능하고 상호작용을 통한 지식공유 가능성이 크다고 평가되는 등 수학적 모델링 과제의 맥락과 활동이 과제 구성 측면에서의 수업 설계의 원리인 PMG-C2에 부합한 것으

---

25) 활동지1의 2번 문항에서 유도하고자 하는 주된 상호작용과 창의적 시너지는 ‘상호보완적 상호작용을 통한 집단 유창성 발현’이다.

로 평가되었다. 다만, 수학적 모델링 과제에 제시된 용어 중 '화학제품'을 이해하지 못할 것이므로 추가 설명이 필요하다는 의견이 제시되었다. 이를 반영하여, 화학제품에 대한 설명을 추가하였다. 수정된 수학적 모델링 과제는 아래의 [그림 Ⅳ-4]와 같다(수정된 부분 밑줄 표시).

군것질을 좋아하는 친구 승연이가 여러분에게 간식으로 먹을 '최고의 과자' 3개를 선정해 달라고 도움을 요청하였습니다. 승연이가 아래와 같은 기준으로 과자를 선택한다고 할 때, 여러분은 어떤 과자를 추천하겠습니까? 주어진 10개의 과자에 표기된 정보를 분석한 결과를 바탕으로, 타당한 이유와 함께 최고의 과자를 추천하는 편지를 작성해 봅시다. 승연이가 여러분의 의견을 받아들일 수 있도록 최고의 과자를 선정한 방법에 대해 자세히 작성해야 합니다. 1. 살이 많이 찌는 간식은 피하고 싶어 한다. 2. 전체 금액도 중요하지만, 양에 비해 너무 비싼 과자는 좋아하지 않는다. 3. 건강을 위해 영양성분을 확인하는 편이다. 4. 화학제품<u>(유화제, 합성향료, 산도조절제 등)</u>이 많이 첨가된 과자는 되도록 안 먹으려고 노력한다.

[그림 Ⅳ-4] 전문가 평가 후 수정된 수학적 모델링 과제

3.2. 전문가 평가 후 수정된 활동지

전문가 평가 결과에서 확인하였듯이, 수학적 모델링 과정에서 의도하는 상호작용이 좀 더 구체적으로 반영되어야 한다는 의견이 제시되었다. 또한, 일반 학생들이 모둠 활동에 기반을 두고 수학적 모델링을 수행하고 모둠 내 상호작용을 이끌어내기 위해선 구체적인 안내가 필요하다는 의견이 제시되었다. 이는 활동지 구성 시 PMG-C4를 강화하는 방향으로 수정되어야 함을 의미한다. 이에 따라, 활동지 수정은 크게 다음의 세 가지 방향으로 진행되었다. 아래의 세 가지 초점에 맞추어 수정된 활동지는 <표 Ⅳ-5>와 같다(수정된 부분 밑줄 참고).

첫째, 모둠 활동이라는 점을 명시하여 모둠 활동을 통한 수학적 모델

<표 Ⅳ-5> 전문가 평가 후 수정된 활동지 문항

활동지	문항
활동지 1	1번 문항 : 어떠한 상황인가요? 문제가 되는 상황은 무엇인지, 머릿속에 떠오르는 상황을 모둠 친구들과 함께 이야기해 봅시다.
	2번 문항 : 각 기준에 맞는 과자를 선택하기 위해 어떠한 정보가 필요한지 모둠원들과 함께 이야기해 봅시다. 가능한 많은 정보를 제시합니다.
활동지 2	3번 문항 : 2번에서 필요하다고 생각한 정보를 모든 과자에 대해서 모둠원들과 함께 구해봅시다. 구한 정보를 식, 그래프, 표 등 다양한 수학 표현을 이용하여 제시합니다. 예를 들어, 기준1에 맞는 과자를 선택하는데 필요한 정보가 열량이라고 생각한다면, '필요한 정보 : (열량)'을 기재하고 모든 과제의 열량을 수집한 뒤 수집한 값들을 표나 그래프로 표현합니다.
활동지 3	4번 문항 : 3번 문항의 결과를 바탕으로, 3번 문항에서 필요한 정보로 제시한 7개 정보의 우선순위를 모둠원들과 함께 정해봅시다. 그 이유를 3번 문항에서 사용한 수학 표현을 이용하여 제시합니다.
	5번 문항 : 3번에서 확인한 과자별 정보를 4번에서 선정한 우선순위에 맞추어 모둠원들과 함께 검토해봅시다. 아래의 분석기준에 4번에서 선정한 우선순위를 순서대로 제시하고, 각 분석기준에 따를 때 어떤 과자를 선정할 수 있는지 3번을 참고하여 적습니다. 예를 들어, 4번에서 '열량-가격-지방' 순으로 우선순위를 정하였다면, '(1) 분석기준 (열량)에 따른 과자 선정'을 제시한 뒤 열량을 기준으로 할 때 선정될 수 있는 과자의 순서를 제시합니다.
활동지 4	6번 문항 : 지금까지 확인한 과자별 정보와 정보의 우선순위를 종합적으로 이용하여, 모둠원들과 함께 최고의 과자를 선택하고 선택한 이유를 말해봅시다.
	7번 문항 : 6번의 결과를 바탕으로 타당한 근거와 함께 최고의 과자를 추천하는 편지를 모둠별로 제공된 A4용지에 작성해 봅시다.

링 활동이 수행될 수 있도록 한다. 모둠 활동을 하는 과정에서 각 문항별로 기대되는 상호작용이 자연스럽게 유도될 수 있도록 한다.

둘째, 각 문항에서 요구하는 상호작용을 좀 더 구체적으로 제시한다. 예를 들어, 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계에 해당하는 2번 문항의 경우 기대되는 주된 상호작용과 창의적 시너지는 각각 상호보완적 상호작용과 집단 유창성이다(<표 Ⅳ-2> 참고). 이를 위해 2번 문항을 '각 기

준에 맞는 과자를 선택하기 위해 어떠한 정보가 필요한지 모둠원들과 함께 이야기해 봅시다. 가능한 많은 정보를 제시합니다.'로 수정한다. 모둠 구성원들이 함께 이야기 나누면서 필요한 정보를 가능한 한 많이 수집하는 상호보완적 상호작용이 나타나며, 이를 통해 집단 유창성을 이끌게 된다.

셋째, 구체적인 사례를 이용하여 각 문항에서 요구하는 활동의 방향을 제시한다. 예를 들어, 활동지3의 5번 문항에서, '예를 들어, 4번에서 '열량-가격-지방' 순으로 우선순위를 정하였다면, '(1) 분석기준 (열량)에 따른 과자 선정'을 제시한 뒤 열량을 기준으로 할 때 선정될 수 있는 과자의 순서를 제시합니다.'를 추가로 제시하여 요구하는 활동의 방향을 구체적으로 안내한다.

3.3. 전문가 평가 후 수정된 집단 구성과 역할분담을 위한 설문지

집단 구성을 위한 초기 설문지 <표 Ⅳ-3>은 전문가에 의해 검토되었다. 검토를 통해 문항이 학생들의 인지적 다양성과 의사소통 방식을 확인하는 데 적절한지 여부를 확인하였다. 특히, 학생들의 역할분담을 위해 사고제시자, 갈등유발자, 사고종합자를 구별하는 데 적절한지 여부를 확인하였다.

전문가 검토 결과, 역할분담 측면에서는 적절하다는 의견이 제시되었으나, 문항의 언어 표현이 어려우므로 좀 더 쉽게 변경할 필요가 있다는 의견이 제시되었다. 특히, 수학적 모델링 역량과 관련하여 좀 더 쉽게 설명될 필요가 있다는 의견이 제시되었다. 이후 <표 Ⅳ-4>의 전문가 평가 결과에 따라 수정된 최종 설문지는 <표 Ⅳ-6>과 같다(수정된 부분 밑줄 표시). 초기 설문지와 달리, 전문가 평가 후 수정된 설문지는 수학적 모델링 역량 범주의 설문 문항에 대해 기존 문항의 의미를 유지하는 범위 내에서 학생들의 이해를 위해 구체적인 설명이 보완되었다.

3.4. 전문가 평가 후 수정된 교사지도안

<표 Ⅳ-6> 전문가 평가 후 수정된 집단 구성과 역할분담을 위한 설문지

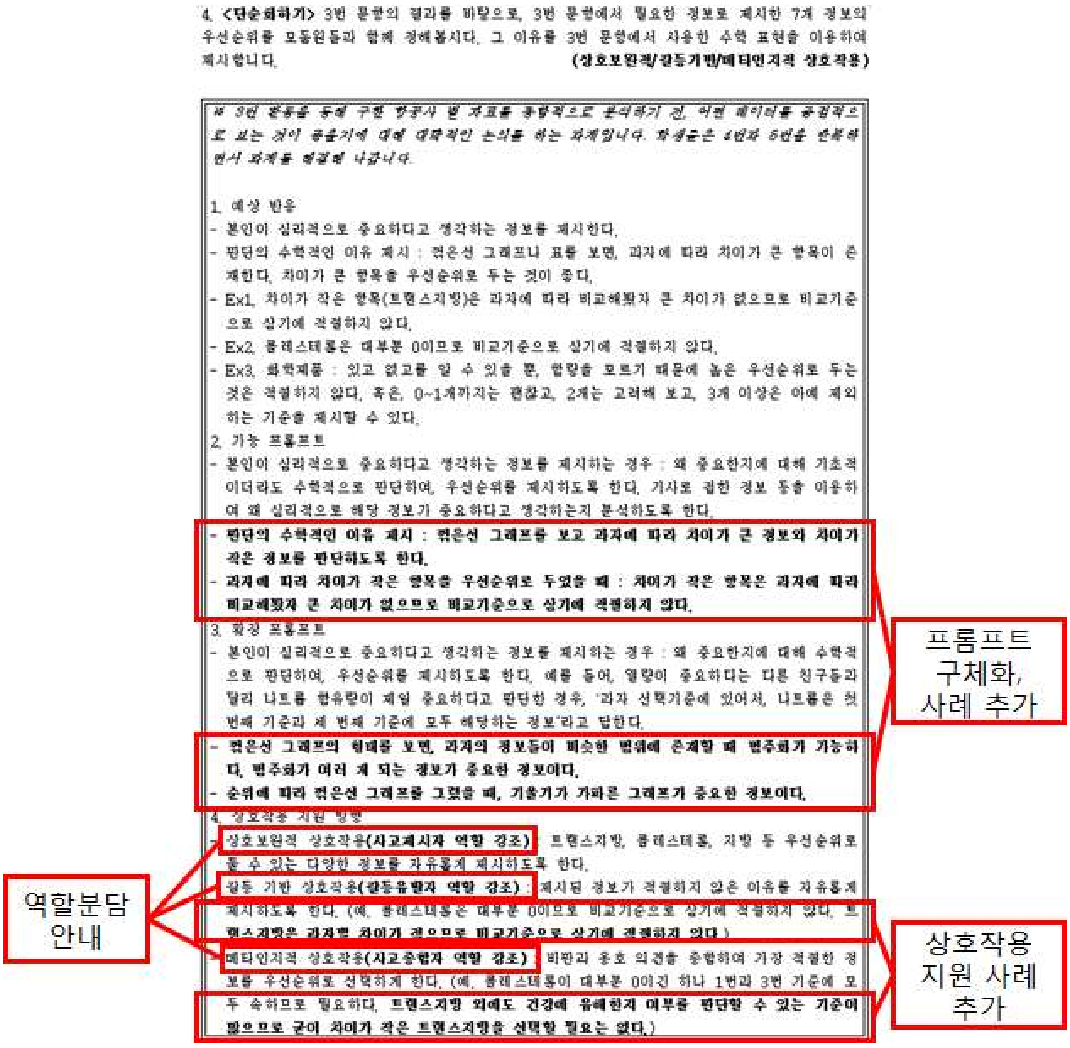
범주			설문 문항	문항 개수
상위 범주	하위 범주	최하위 범주		
수학 인지적 영역	수학적 모델링 역량	(개인) 부분 역량	나는 실생활 문제가 주어졌을 때, 문제의 상황을 머릿속에 떠올려볼 수 있다.	9
			나는 문제해결에 필요한 정보와 그렇지 않은 정보를 구별할 수 있다.	
			나는 문제를 간단하게 정리할 수 있다.	
			나는 문제를 풀 때 필요한 정보 사이의 관계를 확인할 수 있다.	
			나는 문제해결 과정에서 수학적 표현(식, 그래프, 표, 도형 등)을 이용할 수 있다.	
			나는 학습한 수학 내용을 이용해서 실생활 문제를 풀 수 있다.	
			나는 수학적 문제해결의 결과를 실제로 실생활에 적용할 수 있다.	
			나는 문제를 푼 과정이 올바른지 다시 살펴볼 수 있다.	
			나는 문제풀이 과정이나 답이 옳지 않다고 생각되면, 풀이 과정을 살펴보면서 잘못된 곳을 찾을 수 있다.	
		(개인) 메타인지역량	나는 문제를 풀기 전에, 풀이의 전체 과정을 먼저 떠올려 볼 수 있다.	3
			나는 문제를 푸는 중간중간에 그때까지의 풀이가 올바른지 다시 살펴볼 수 있다.	
			나는 다른 방식으로 문제를 해결한 친구의 풀이와 나의 풀이 중 어떤 것이 더 효과적인 풀이인지 비교할 수 있다.	
		(집단) 메타인지역량	나는 친구들과 함께 문제풀이를 시작하면서, 전체 과정을 친구들과 함께 떠올려 볼 수 있다.	3
			나는 친구들과 함께 문제를 풀면서 풀이 과정을 함께 살펴볼 수 있다.	
			나는 친구들과 함께 선택한 최종 풀이 외에 다른 풀이에 대해 서로 이야기할 수 있다.	

	수학적 의사소통 능력	나는 문제풀이과정을 친구에게 설명할 수 있다.	2
		나는 수학적 표현(식, 그래프, 표, 도형 등)을 이용해서 문제풀이과정을 친구에게 설명할 수 있다.	
소집단 활동 경험	소집단 활동 경험	수학 시간에 친구와 도움을 주고받으며 문제를 해결해 본 경험이 있다.	2
		수학 시간에 모둠 활동을 해본 경험이 있다.	
	의사소통 방식	모둠 활동을 할 때, 나는 내 생각을 자유롭게 말할 수 있다.	8
		모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람이 자유롭게 말할 수 있는 편안한 분위기를 만든다.	
		모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람의 생각과 비슷한 생각을 떠올려 볼 수 있다.	
		모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람이 제시한 의견에 흔들리지 않고 내 생각을 유지할 수 있다.	
		모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람이 제시한 의견에 반대 의견을 제시할 수 있다	
		모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람의 의견이 타당한지 점검할 수 있다.	
		모둠 활동 중 문제풀이에 어려움이 발생한 경우, 어려움을 해결하기 위해 나는 주로 (같은 모둠에 속한 친구/ 선생님)의 의견을 듣는 편이다.	
		모둠 활동을 할 때, 나는 다른 구성원의 의견에 대해 주로 (비슷한 의견을 제시/ 반대 의견을 제시/ 여러 의견을 비판적으로 평가 혹은 종합)하는 편이다.	
총합			27

전문가 평가 결과, 교사지도안에 학생의 주된 역할분담에 대한 명확한 안내와 교사가 참고할 수 있는 프롬프트의 추가 제공이 필요하다는 의견이 제시되었다. 이에 따라, 다음의 방향으로 교사지도안을 수정하였다.

첫째, 각 문항 해결 과정에서 발현될 것으로 기대되는 주된 상호작용에 맞추어, 학생의 주된 역할분담을 함께 제시한다. 교사는 문항 해결 과

정에서 상호작용을 유도하고자 할 때, 학생의 역할분담을 이용할 수 있다. 둘째, 수학적 모델링 과제 해결을 위한 가능 프롬프트, 확장 프롬프트의 구체적인 예를 제시한다. 예를 들어, 4번 문항 해결 시 학생들이 단순화의 근거로 3번 문항의 수학적 표현을 활용하지 않을 경우, 수학적 표현을 활용할 것을 제안하는 가능 프롬프트의 예를 추가한다. 셋째, 각 문항에서 요구하는 상호작용을 유도하기 위한 구체적인 프롬프트를 제시한다. 예컨대, 4번 문항 해결 시 학생들이 상호보완적, 갈등 기반 상호작용에 머무는 경우, 단순화 기준(과제 맥락과 수학적 표현)을 평가하는 메타인지적 상호작용 유도 프롬프트의 예를 추가한다. 전문가 평가 후 수정된 교사지도안은 다음의 [그림 Ⅳ-5]와 같다.



4. <단순화하기> 3번 문항의 결과를 바탕으로, 3번 문항에서 필요한 정보로 제시한 7개 정보의 우선순위를 모둠원들과 함께 정해봅시다. 그 이유를 3번 문항에서 사용한 수학 표현을 이용하여 제시합니다. **(상호보완적/갈등기반/메타인지적 상호작용)**

※ 3번 활동을 통해 구한 항공사 별 자료를 종합적으로 분석하기 전, 어떤 데이터를 공정적으로 보는 것이 좋을지에 대해 대략적인 논의를 하는 과제입니다. 학생들은 4번과 5번을 반복하면서 과제를 해결해 나갑니다.

1. 예상 반응
- 본인이 심리적으로 중요하다고 생각하는 정보를 제시한다.
- 판단의 수학적인 이유 제시 : 꺾은선 그래프나 표를 보면, 과자에 따라 차이가 큰 항목이 존재한다. 차이가 큰 항목을 우선순위로 두는 것이 좋다.
- Ex1. 차이가 작은 항목(트랜스지방)은 과자에 따라 비교해봤자 큰 차이가 없으므로 비교기준으로 삼기에 적절하지 않다.
- Ex2. 콜레스테롤은 대부분 0이므로 비교기준으로 삼기에 적절하지 않다.
- Ex3. 화학제품 : 있고 없고를 알 수 있을 뿐, 함량을 모르기 때문에 높은 우선순위로 두는 것은 적절하지 않다. 혹은, 0~1개까지는 괜찮고, 2개는 고려해 보고, 3개 이상은 아예 제외하는 기준을 제시할 수 있다.

2. 기능 프롬프트
- 본인이 심리적으로 중요하다고 생각하는 정보를 제시하는 경우 : 왜 중요한지에 대해 기초적이더라도 수학적으로 판단하여, 우선순위를 제시하도록 한다. 기사로 접한 정보 등을 이용하여 왜 심리적으로 해당 정보가 중요하다고 생각하는지 분석하도록 한다.
- **판단의 수학적인 이유 제시 : 꺾은선 그래프를 보고 과자에 따라 차이가 큰 정보와 차이가 작은 정보를 판단하도록 한다.**
- **과자에 따라 차이가 작은 항목을 우선순위로 두었을 때 : 차이가 작은 항목은 과자에 따라 비교해봤자 큰 차이가 없으므로 비교기준으로 삼기에 적절하지 않다.**

3. 확장 프롬프트
- 본인이 심리적으로 중요하다고 생각하는 정보를 제시하는 경우 : 왜 중요한지에 대해 수학적으로 판단하여, 우선순위를 제시하도록 한다. 예를 들어, 열량이 중요하다는 다른 친구들과 달리 나트륨 함유량이 제일 중요하다고 판단한 경우, '과자 선택기준에 있어서, 나트륨은 첫 번째 기준과 세 번째 기준에 모두 해당하는 정보'라고 답한다.
- **꺾은선 그래프의 형태를 보면, 과자의 정보들이 비슷한 범위에 존재할 때 범주화가 가능하다. 범주화가 여러 개 되는 정보가 중요한 정보이다.**
- **순위에 따라 꺾은선 그래프를 그렸을 때, 기울기가 가파른 그래프가 중요한 정보이다.**

4. 상호작용 지원 방향
- 상호보완적 상호작용**(사고제시자 역할 강조)** : 트랜스지방, 콜레스테롤, 지방 등 우선순위로 둘 수 있는 다양한 정보를 자유롭게 제시하도록 한다.
- 갈등 기반 상호작용**(갈등유발자 역할 강조)** : 제시된 정보가 적절하지 않은 이유를 자유롭게 제시하도록 한다. (예, 콜레스테롤은 대부분 0이므로 비교기준으로 삼기에 적절하지 않다. **트랜스지방은 과자별 차이가 적으므로 비교기준으로 삼기에 적절하지 않다.**)
- 메타인지적 상호작용**(사고종합자 역할 강조)** : 비판과 옹호 의견을 종합하여 가장 적절한 정보를 우선순위로 선택하게 한다. (예, 콜레스테롤이 대부분 0이긴 하나 1번과 3번 기준에 모두 속하므로 필요하다. **트랜스지방 외에도 건강에 유해한지 여부를 판단할 수 있는 기준이 많으므로 굳이 차이가 작은 트랜스지방을 선택할 필요는 없다.**)

[그림 Ⅳ-5] 전문가 평가 후 수정된 교사지도안

전문가 평가 후 수정된 자료는 수학적 모델링 과제와 활동지, 집단 구성을 위한 설문지, 그리고 교사지도안이다. 수업설계안의 경우 [그림 Ⅳ-3]의 틀에서 별도의 수정이 이루어지지 않았으므로, 여기에서는 추가 제시를 생략한다. 초기 1차 교수실험에서도 [그림 Ⅳ-3]의 수업설계안을 활용하였다.

지금까지 Ⅱ장에서 분석한 문헌연구 결과를 토대로 수업을 설계하고 자료를 개발하였다. 이 과정에서 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업에 참여하는 학생들의 가설학습경로를 예측하는 사고실험을 함으

로써 Ⅱ장에서 추측한 수업 설계의 원리와 수학적 모델링 단계별 집단 창의성 발현 모습에 대한 검토를 수행하였다. 이때, 연구 과정을 자세히 서술함으로써 개발 연구의 특징인 연구의 추적 가능성을 높이고, 연구의 타당성과 신뢰성을 높이고자 하였다.

다음 장에서는 이 장에서 제시한 예비설계의 결과물([그림 Ⅳ-3], [그림 Ⅳ-4], [그림 Ⅳ-5], <표 Ⅳ-5>, <표 Ⅳ-6>)을 직접 적용하는 교수실험을 제시한다. Ⅴ장은 연구문제에 대한 이론적 추측을 실제적 측면에서 검증한다는 의미를 지니며, 궁극적으로 연구문제에 대한 답을 제시함으로써 '집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업'을 설계 및 실행하는 토대가 된다.

Ⅴ. 교수실험 및 회고분석 결과 : 수업 실행 및 반성

이 장에서는 개발 연구의 두 번째와 세 번째 단계인 교수실험과 회고분석 단계를 수행한다. 먼저, Ⅳ장에서 개발한 수업설계안 및 교수학습 자료를 이용하여 실제 수업을 실행한 결과를 제시하고 실행 결과를 반성한다. 해당 결과물은 그 자체로서 개발 연구 과정을 제시하고 정당화한다는 의미를 지닌다. 또한, 교수실험에서 관찰된 다양한 형태의 상호작용과 창의적 시너지는 수학적 모델링에서의 집단 창의성 발현 가능성을 검증한다. 즉, 이 장에서 제시하는 교수실험은 예비설계 단계에서 제시한 연구문제에 대한 이론적 추측을 실제적 측면에서 다시 검증함으로써, 궁극적으로 회고분석을 통한 연구문제에 대한 답의 제시로 이어진다.

교수실험 결과, 예비설계 단계에서의 추측과 일치하는 부분도 있었지만 불일치하는 부분도 관찰되었다. 이와 관련하여, 우정호 외(2014)는 개발 연구가 예비설계 과정에서 추측한 일차적 국소적 교수 이론이 반복적인 교수실험과 회고분석을 통해 개선되어 가는 과정임을 강조한 바 있다. 이는 예비설계의 연구결과와 교수실험의 연구결과가 반드시 일치하는 것이 아니며, 예비설계의 연구결과를 교수실험을 통해 개선해 가는 과정이 필수적임을 의미한다. 다시 말해, 실제 적용 과정에서 관찰된 오류의 분석을 통해 개선 방안을 제시하는 것이 중요함을 의미한다. 본 연구 역시 우정호 외(2014)의 관점을 따라, 회고분석을 통해 예비설계와 교수실험 결과와의 불일치를 분석 및 반성하고 궁극적으로 개선된 '집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업'을 설계하고자 한다.

1. 초기 교수실험

초기 교수실험은 3회에 걸쳐 이루어지면서 실행과 반성이 반복되었다. 여기에서는 교수실험이 진행됨에 따라 수업과 자료가 수정되는 과정을

제시한다. 초기 1차와 2차 교수실험 결과, 과제와 활동지 관련한 수업 설계 원리의 강화를 위한 수학적 모델링 과제와 활동지의 수정이 요구되었다. 이후 3차 수업 실행 후에는 교사와 학생 활동 관련한 수업 설계 원리의 강화를 위한 교사지도안과 수업설계안의 수정이 추가로 요구되었다. 이에 따라, 1차와 2차 수업 실행 및 수정 결과는 과제와 활동지 수정 결과를 중심으로 제시한다. 3차 수업 실행 및 수정 결과는 과제와 활동지뿐 아니라 교사지도안과 수업설계안이 수정된 결과를 함께 제시한다.

1.1. 초기 1차 교수실험 및 수정

초기 1차 교수실험에서는 전문가 검토 후 수정된 자료가 적용되었다. 다만, 예비설계 단계에서는 과자를 실물로 제공하는 것을 계획하였으나, 교수실험 준비 과정에서 학생들에게 실제 과자를 제공할 경우 수업 진행에 어려움이 있을 것 같다는 연구 참여 교사의 의견을 받아들여 [그림 Ⅴ-1]과 같이 과자 뒷면에 제시된 정보를 스캔하여 제시함으로써 실세계 맥락을 경험할 수 있게 하였다. 이때, 과자의 정보는 별도로 가공되지 않았다. 다섯 종류의 과자는 시중에서 판매 중인 것으로, 본 연구에서는 각각 B, C, H, I, P로 표기하였다.

[그림 Ⅴ-1] 학생들에게 제공된 과자 정보

1.1.1. 초기 1차 교수실험 결과

초기 1차 교수실험 후, 연구자의 현장 노트와 교사 인터뷰에서 드러난 공통적인 문제점은 수학적 모델링 과제의 실생활 맥락 측면과 과제 해결 과정의 복잡성으로 인한 수행의 어려움, 그리고 상호보완적 상호작용에 집중된 모둠 활동으로 나타났다. 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 수학적 모델링 과제의 타당성과 관련하여, 현장 노트에는 “학생들은 왜 주어진 기준에 맞추어 과자를 선택하는지에 대해 의문을 가졌음”이 작성되었다. 몇몇 학생들의 경우 기준에 대한 고려 없이 본인의 실세계 경험에 근거하여 ‘맛있는 과자’를 추천한다는 답으로 활동을 마무리하려는 모습을 보이기도 하였다. 이에 대해 연구 참여 교사 역시 연구자와의 인터뷰에서 과제에 주어진 상황이 학생들에게 동기부여가 되지 않음을 다음과 같이 언급하였다.

T : 동기, 이 상황 자체에 대해서 지금 먹고 싶어 하는 걸 소개시켜 줄 건데 그냥 자기가 맛있는 거를 해주면 안 되나? 그런 식으로 아이들이 질문도 하고 그렇기 때문에 조금 더 왜 이런 조건들을 맞추어야 되는지에 대해서 조금 더 맥락을 맞춰서 아이들한테 제시를 하면 그럼 애들이 처음 이 문제를 맞닥뜨렸을 때 이게 왜 하는가라는 생각을 안 하고 아~이러니까 할 수도 있겠다는 생각을 할 수 있을 것 같아요.

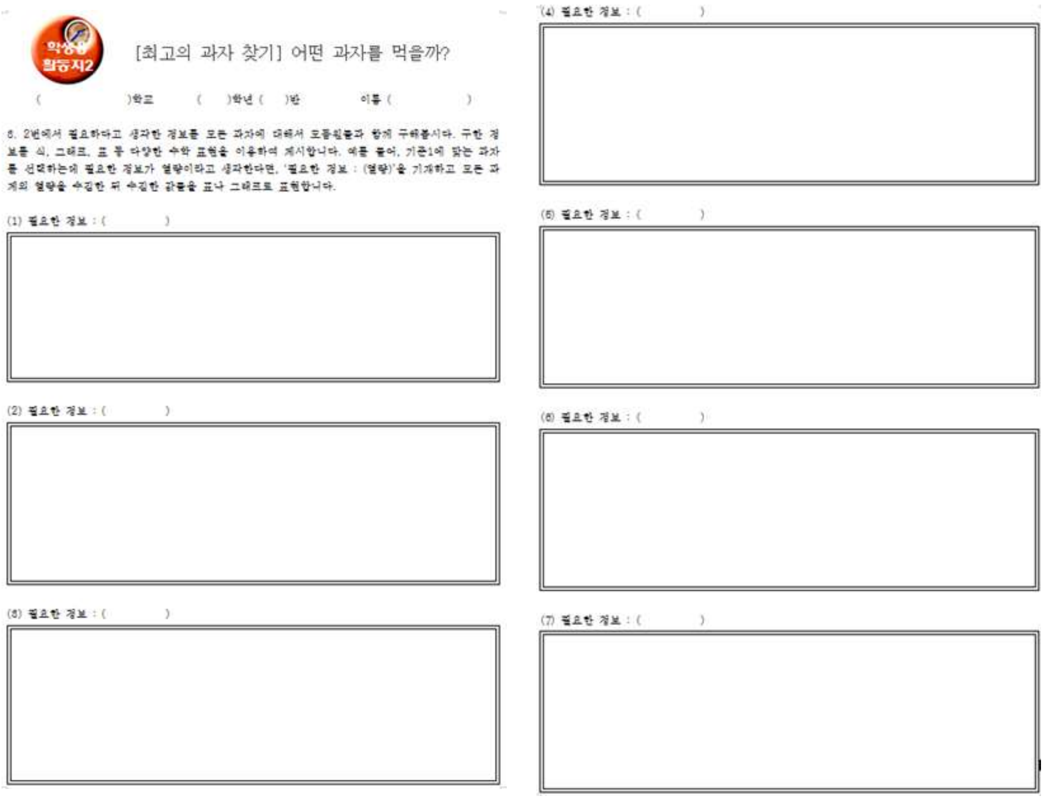
이와 같은 활동의 모습은 수학적 모델링 과제 해결 시 실세계 경험에 근거한 답을 우선적으로 구성한다는 특징(Doerr & English, 2003)이 드러난 것으로 볼 수 있다. 또한, 수학적 모델링 과제에 제시되는 실세계 맥락이 학생들이 경험하는 실세계 맥락이어야 한다는 Palsdottir & Sriraman(2017)의 주장을 뒷받침하는 것으로 볼 수 있다.

둘째, 수학적 모델링 과제의 복잡성과 관련하여, 과제에 제시된 기준이 다양하고 중복되어 학생들이 활동을 어려워하였다. 연구자의 현장 노트에는 “기준이 많아 학생들이 정보를 찾기 어려워하며 기준의 의미를 이해하기 힘들어함. 과자 10개를 살펴보는 것을 어려워함”이 작성되었다. 이에 대해, 연구 참여 교사 역시 연구자와의 인터뷰에서 다음과 같이 수

학적 모델링 과제 자체의 복잡성이 일반 학생들에게 어렵게 느껴짐을 지적하였다. 이는 과제 구성 시 PMG-C2가 반영되어야 하지만, 복잡성이 다소 완화될 필요가 있음을 보여준다.

T : 문제 자체를 이해하는 것도 조금 아이들이 시간이 굉장히 오래 소요됐고, 그다음에 문제에서 요구하는 바도 생각보다 많아서 애들이 힘들어하다가 지쳐 가는 것 같았는데 (중략) 기준을 조금 먼저 추려보는 게 좋을 것 같아요. 1번이랑 3번이랑 조금 겹치는 부분도 있고, (중략) 그리고 4번 화학제품이 있는데 아이들이 그 말 자체를 어려워해서 기준을 조금 수정을 해야 할 것 같아요. (중략) 과자도 조금 많았고.

셋째, 활동지 문항의 복잡성과 관련하여, 학생들에게 제시된 활동지(<표 Ⅳ-5> 참고)에서는 수학적으로 다양하게 표현하기와 단순화하기에 해당하는 3번과 4번 문항 해결을 위해 과자에 표시된 여러 정보 중 7가지 정보를 선정하고 10개 과자에서 7가지 정보를 모두 추출할 것을 요구하였다([그림 Ⅴ-2] 참고). 이에 대해, 연구자 활동 일지에는 “학생들이 7개 정보를 찾는 것을 ‘노가다’라고 표현하면서 힘들어함”이라고 작성되었으며 연구 참여 교사 역시 “(정보가) 7개나 되니까 아이들이 시간도 모자라고 흥미를 점점 더 잃어서 여섯 번째 일곱 번째 갈 때는 조금씩 떨어지는 것 같더라고요.”라고 언급하면서 활동지 문항의 복잡성 역시 일반 학생들에게 무리가 되었음을 지적하였다. 이는 과제 구성 시 PMG-C2가 완화되어 반영되어야 할 뿐 아니라, 활동지 문항 구성에서도 PMG-C3가 다소 완화되어 적용될 필요가 있음을 보여준다.


학생용 활동지2

[최고의 과자 찾기] 어떤 과자를 먹을까?

(   )학교   (   )학년 (   )반   이름 (   )

3. 2번에서 필요하다고 생각한 정보를 모든 과자에 대해서 모둠원들과 함께 구해봅시다. 구한 정보를 식, 그래프, 표 등 다양한 수학 표현을 이용하여 제시합니다. 예를 들어, 기준1에 맞는 과자를 선택하는데 필요한 정보가 열량이라고 생각한다면, '필요한 정보 : (열량)'을 기재하고 모든 과자의 열량을 수집한 뒤 수집한 값들을 표나 그래프로 표현합니다.

(1) 필요한 정보 : (   )

(2) 필요한 정보 : (   )

(3) 필요한 정보 : (   )

(4) 필요한 정보 : (   )

(5) 필요한 정보 : (   )

(6) 필요한 정보 : (   )

(7) 필요한 정보 : (   )

[그림 Ⅴ-2] 초기 1차 교수실험 시 학생들에게 제공된 3번 문항 활동지

넷째, 활동지 문항 해결 과정에서 나타난 상호작용과 관련하여, 주로 상호보완적 상호작용이 관찰되었으며 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 관찰되지 않았다. 이에 대해 연구자의 활동 일지에는 “교사에 의한 상호작용을 촉진하는 발문이 제공되지 못하였음”이라고 작성되었다. 이후 연구 참여 교사와의 인터뷰에서 교사는 다음과 같이 상호작용 유도의 필요성을 인지하고 있었으나 수학적 모델링 과제와 활동지 문항 자체에 대한 이해의 어려움으로 인해 상호작용 유도를 위한 발문을 제공하지 못하였다고 언급하였다.

R : 학생들이 활동할 때, 이게 상호작용 과정에서 서로 지식을 공유하고 거기서 ‘나는 이게 중요할 것 같아.’, 아니면 ‘나는 다른 게 중요할 것 같다.’, 이렇게 갈등도 있다가 다른 학생이 종합적으로 평가하고 이런 것도 생각했었는데, 그 부분에 대해서는 잘 안 나왔던 것 같아요.

T : 네, 일단 애들이 문제 자체를 좀 어려워하기도 했고, 좀 그럴 정신도 없었고. 제가 좀 상호작용 촉진하는 것에 대해 예를 들어 '이렇게 하자' 이렇게 얘기도 못 했고.

R : 그럼 활동지 먼저 수정하고 그 부분(상호작용 유도하는 발문)은 차차..

T : 네, 수정하고 좀 쉬워지면 (문항에서 유도하려는) 상호작용이 나올 수 있지 않을까.

연구자와 연구 참여 교사의 대화에서도 이어지듯이, 상호작용 유도를 위한 발문은 상호작용 유도를 위한 활동지 구성과도 연결된다. 교사에 의한 상호작용 유도 발문이 전달되지 못할 경우를 대비하여, PMG-C4가 더욱 구체적으로 반영되어야 함을 보여준다.

1.1.2. 초기 1차 교수실험 후 수업 및 자료 수정

위에서 살펴본 문제점에 대한 수정 방향은 과제와 활동지의 수정으로 이루어졌다. 이때, 본 연구에서 추측한 수업 설계의 원리를 강화 혹은 수정하는 방향으로 수정이 이루어졌다. 구체적인 수정 방향은 다음과 같다.

1.1.2.1. 초기 1차 교수실험 후 수정된 수학적 모델링 과제

과제는 다음과 같은 방향으로 수정되었다. 첫째, 학생들의 실세계 경험을 고려하여, 과제에 제시된 기준에 근거한 과자 선정에 대한 이해, 즉 과제의 수용 가능성을 높이고자 하였다. 학생들이 자주 접하는 '유튜버'를 이용하여, 맛이 아닌 과자 성분과 같은 기준에 근거하여 과자를 선정해야 하는 이유를 정당화하였다. 둘째, 실생활 맥락과 관련하여 과제에 반영된 실세계 현상의 복잡성을 완화하였다. 기존에 제시된 4개의 과자 선정 기준을 통합 및 삭제하여 3개로 줄였다.[26] 이는 PMG-C2를 유지하

26) 이때, 기준을 파악하기 쉽도록 글씨체와 굵기를 변형하였다([그림 V-3] 참고).

면서 완화된 수준으로 반영한 것이다. 다양한 관점을 유도하기 위해 복합적인 과제를 제공했으나 일반 학생들에게 어려움을 제공하게 된 것이다. 초기 1차 교수실험 후 수정된 수학적 모델링 과제는 다음과 같다.

이번 겨울에 혼자 미국으로 여행을 간 예진이는 호스텔에서 미국 친구 Yeony를 만났습니다. 얘기를 나누고 친해진 후 알고 보니, Yeony는 과자를 리뷰하여 영상을 올리는 유명 유튜버였습니다. 여행을 마치고 돌아온 예진이는 Yeony로부터 이메일 한 통을 받았습니다. '…한국의 과자에 대해 소개하는 영상을 유튜브에 올리고 싶은데, 과자 2개만 추천해 주면 좋겠어. 내가 과자를 리뷰하는 기준은 아래의 세 가지인데, 이 기준에 맞게 네가 추천해주면 너무 좋을 것 같아. 유튜브에 올라가는 영상인 만큼 확실한 근거가 있으면 좋겠고. …' **기준 1. 살이 많이 찌는 간식은 피한다.** **기준 2. 건강을 위해 유해성분을 확인하는 편이다.** **기준 3. 양에 비해 너무 비싼 과자는 좋아하지 않는다.** 이메일을 본 예진이는 여러분에게 Yeony에게 추천할 과자를 함께 찾아달라고 하였습니다. 주어진 5개의 과자에 적힌 정보를 위 기준에 맞추어 분석한 뒤, 우리나라 최고의 과자 2개를 추천하는 편지를 타당한 이유와 함께 작성해봅시다.

[그림 V-3] 초기 1차 교수실험 후 수정된 수학적 모델링 과제

1.1.2.2. 초기 1차 교수실험 후 수정된 활동지

활동지 구성과 관련하여, 활동지 문항과 활동지 문항별 답안 제시 방법의 두 가지 측면에서 수정이 이루어졌다.

첫째, 상호작용을 유도하는 구체적인 문항을 제시하였다. 예를 들어, 단순화를 위한 4번 문항의 경우, 갈등 기반 상호작용과 메타인지적 상호작용을 유도하기 위하여 '제시된 이유가 타당한지 함께 살펴보고, 타당하지 않다면 타당하지 않은 이유를 제시한 뒤 새로운 순위를 제시합니다.'

<표 V-1> 초기 1차 교수실험 후 수정된 활동지 문항

활동지	문항
활동지 1	1번 문항 : 어떠한 상황인가요? 문제가 되는 상황은 무엇인지, 머릿속에 떠오르는 상황을 모둠 친구들과 함께 이야기해 봅시다.
	2번 문항 : 각 기준에 맞는 과자를 선택하기 위해 어떠한 정보가 필요한지 모둠 친구들과 함께 이야기해 봅시다. 가능한 많은 정보를 제시합니다.
활동지 2	3번 문항 : 2번에서 필요하다고 생각한 정보를 모든 과자에 대해서 모둠 친구들과 함께 구해봅시다. 구한 정보를 식, 그래프, 표 등 다양한 수학 표현을 이용하여 제시합니다. 예를 들어, Yeony의 기준1에 맞는 과자를 선택하는데 필요한 정보가 열량이라고 생각한다면, '필요한 정보 : (열량)'을 기재하고 모든 과자의 열량을 수집한 뒤 수집한 값들을 표나 그래프, 식으로 표현합니다.
활동지 3	4번 문항 : 3번 문항에서 필요한 정보로 제시한 정보의 우선순위를 모둠 친구들과 함께 선정하고, 그 이유를 3번의 각 소문항 해결 시 사용한 수학 표현을 이용하여 제시합니다. <u>제시된 이유가 타당한지 함께 살펴보고, 타당하지 않다면 타당하지 않은 이유를 제시한 뒤 새로운 순위를 제시합니다.</u>
	5번 문항 : 3번에서 확인한 과자별 정보를 4번에서 선정한 우선순위에 맞추어 모둠 친구들과 함께 검토해봅시다. 아래의 표에 '4번에서 선정한 우선순위'를 순서대로 작성하고, 각 분석기준에 따를 때 어떤 과자를 선정할 수 있는지, 3번을 참고하여 적습니다. 예를 들어, 4번에서 '열량-가격-지방' 순으로 우선순위를 정하였다면, '1순위(열량)에 따른 과자 선정'을 작성한 뒤 열량을 기준으로 할 때 선정될 수 있는 과자를 순서대로 제시합니다. <u>그리고 그 이유도 적어봅시다.</u>
활동지 4	6번 문항 : 지금까지 확인한 과자별 정보와 과자 선택의 우선순위를 종합적으로 이용하여, 모둠 친구들과 함께 최고의 과자를 선택합니다. 선택한 이유를 말하고, <u>선택한 이유가 타당한지 살펴봅니다. 만약 선택의 이유가 타당하지 않다면 타당하지 않은 이유를 제시하고 새로운 선택을 제시합니다.</u>
	7번 문항 : 6번의 결과를 바탕으로 타당한 근거와 함께 최고의 과자 2개를 Yeony에게 추천하는 편지를 모둠별로 제공된 A4용지에 작성해 봅시다.(편지는 한국어로 씁니다.)

를 추가하고 답안 작성 시에도 이유를 제시하도록 수정하였다. 초기 1차 교수실험 후 수정된 활동지는 <표 V-1>과 같다(수정된 부분 밑줄 표

시). 그리고 수정된 4번 문항의 답안 작성 방법은 [그림 Ⅴ-4]와 같다. 학생들은 <표 Ⅴ-1>과 [그림 Ⅴ-4]의 4번 문항을 해결하는 과정에서 단순화의 기준을 제시하고, 그 이유를 반복적으로 검토하게 된다. 이는 곧 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 나타나는 과정이 된다. 즉, 활동지는 PMG-C4를 강화하는 방향으로 수정이 이루어졌다.

4. 3번 문항에서 필요한 정보로 제시한 정보의 우선순위를 모둠 친구들과 함께 선정하고, 그 이유를 3번의 각 소문항 해결 시 사용한 수학 표현을 이용하여 제시합니다. 제시된 이유가 타당한지 함께 살펴보고, 타당하지 않다면 타당하지 않은 이유를 제시한 뒤 새로운 순위를 제시합니다.

1순위 : (　　　　) 선정 이유 :

[그림 Ⅴ-4] 초기 1차 교수실험 후 수정된 4번 문항 활동지

둘째, 문항에서 요구하는 답의 제시 방법을 간소화, 구체화하였다. 예를 들어, 3번 문항의 경우 기존의 활동지([그림 Ⅴ-2] 참고)에서 요구했던 7개의 정보가 아닌 5개 정보를 수학적으로 표현하는 활동으로 간소화하였다. 또한, 2번 문항의 경우 학생들이 과제에 제시된 3가지 기준을 모두 확인할 수 있도록, [그림 Ⅴ-5]와 같이 답안 제시 방법을 구체적으로 제시하였다. 이는 앞에서 제시한 과제 수정 방향과 동일한 방식으로 PMG-C3를 완화하여 적용한 것이다.

2. 각 기준에 맞는 과자를 선택하기 위해 어떠한 정보가 필요한지 모둠 친구들과 함께 이야기해 봅시다. 가능한 많은 정보를 제시합니다.

기준 1에 맞는 과자를 선택하기 위해 필요한 정보
기준 2에 맞는 과자를 선택하기 위해 필요한 정보
기준 3에 맞는 과자를 선택하기 위해 필요한 정보

[그림 Ⅴ-5] 초기 1차 교수실험 후 수정된 2번 문항 활동지

과제와 활동지의 수정 외에, 현장 노트와 인터뷰 분석을 통해 상호작용을 유도하기 위한 안내자로서 교사 역할 강화(PMG-C1)의 필요성과 학생의 역할분담 강화(PMG-C6)의 필요성이 확인되었다. 특히, 위에서 제시한 인터뷰에서도 확인할 수 있듯이, 연구 참여 교사는 교사가 상호작용을 유도하는 안내자 역할을 해야 한다는 점과 학생들의 역할분담의 필요성을 스스로 인지하고 있었다(위 인터뷰의 밑줄 친 부분 참고). 이에 따라, 이후의 교수실험에서는 상호작용을 강조하는 안내자로서의 교사 역할 강화가 이루어졌다.

1.2. 초기 2차 교수실험 및 수정

초기 1차 교수실험 및 수정 결과, 과제와 활동지 문항의 복잡성이 간소화되고 구체성을 강화하는 방향으로 수정되었다. 또한, 활동지 문항이 상호작용을 구체적으로 유도하는 방향으로 수정되었다. 수정된 자료를 이용한 초기 2차 교수실험 결과, 초기 1차 교수실험과 비교하면, 과제 맥락에 대한 이해가 높아지고 활동지 수행 시 좀 더 적극적인 상호작용이 관찰되었다. 다만, 특정 유형의 상호작용과 창의적 시너지 발생과 관련한 문제점이 추가로 관찰되었는데, 이에 따라 자료의 수정 방향 역시 다양한 유형의 상호작용과 창의적 시너지 발생을 유도하는 데 초점이 맞추어졌다. 특히, 메타인지적 상호작용을 유도하기 위한 방향으로 수정이 이루어졌다. 구체적인 교수실험 결과와 그에 따른 자료 수정의 방향은 다음과 같다.

1.2.1. 초기 2차 교수실험 결과

수정된 과제와 활동지를 적용한 결과, 다음과 같은 점이 개선되었다. 첫째, 과제 맥락에 대한 이해가 높아졌다. 학생들은 맛이 아닌 Yeony가 제시한 기준에 맞추어 과자를 선택해야 하는 이유에 공감하는 모습을 보였다. 둘째, 학생들의 상호작용이 좀 더 적극적으로 진행되었다. 이와 관

련하여, 연구자의 현장 노트에 “보완이 필요한 부분을 보완한 뒤 실험을 하자, 학생들은 상호작용을 활발하게 하였으며 훨씬 개선된 반응을 보였음.”이라고 기재된 것을 확인할 수 있었다. 교사와의 인터뷰에서 언급된 연구자의 발언에서도 다음과 같이 개선된 부분을 확인할 수 있었다.

R : 제가 관찰자 입장에서 봤을 때는 훨씬 자연스럽고, (중략) 과제 맥락 부분이 조금 더 애들이 지금 경험한 수업 현실, 실생활 체계에 맞춰서 하도록 하는 그런 반응이 좋았고. 확실히 3번도 (답하는 개수가) 더 짧아지니까 잘했던 것 같아요.

다만, 주로 상호보완적 상호작용이 유도되었으며 메타인지적 상호작용이 관찰되지 않았다. 또한, 3번 문항의 경우 다양한 표현이 제시되지 않고 동일한 수학적 표현을 반복하는 모습이 관찰되었다. 이는 수업 설계 원리 중 PMG-C4와 관련한 부분으로, 교사 인터뷰 자료와 연구자 관찰 일지에서 다음의 내용을 확인할 수 있다.

T : 아직까지는 유사한 표현이, 예를 들어, 표가 첫 번째에 사용되었는데 세 번째에 쓴다든지 이런 식으로 (표현이) 다양해지기는 했지만, 완전히 다양해진 것 같지는 않고. (중략) 3번 들어가기 전에 한 번 더 강조해서 얘기하면 조금 더 바뀔 수 있지 않을까. 그리고 <u>제가 돌아다니면서 아이들이 비슷한 표현만 쓰고 있으면 그것도 또 얘기하면 조금 더 다양한 표현이 나오지 않을까 싶어요.</u>

R : 네, 그런데 활동 자체는 괜찮은데, 상호작용이 상호보완적 상호작용까지는 되는데 갈등 유발하기, 예를 들어, 3번 같은 경우 원래 3번을 하려면 어떤 표현이 제일 좋은지에 대해 학생들끼리 이견이 있을 텐데 (갈등 기반 상호작용과 메타인지적 상호작용이 나타나지 않았어요.).

T : <u>조금 더 상호작용을 부각할 수 있는 그런 장치를 저희가 마련하는 것도 괜찮을 것 같아요.</u>

연구자와 연구 참여 교사의 대화에서도 이어지듯이, 문항에서 의도하는 상호작용과 창의적 시너지를 유도하기 위해 교사의 발문과 활동지 문

항의 수정이 요구된다. 이는 수업 설계의 원리 중 특히 PMG-C1과 PMG-C4가 더욱 강화되어야 함을 의미한다.

1.2.2. 초기 2차 교수실험 후 수업 및 자료 수정

초기 2차 교수실험에서 학생들이 과제 맥락을 이해하는 데 어려움이 없어짐에 따라 과제 수정은 이루어지지 않았으며, 주로 상호작용을 유도하기 위한 활동지 수정에 초점이 맞추어졌다. 초기 2차 교수실험 후 수정된 활동지는 <표 Ⅴ-2>와 같다(수정된 부분 밑줄 표시). 또한, 활동지 문항뿐 아니라 활동지 문항별 답안 작성 방법을 함께 수정하였다. 수정된 활동지 문항별 답안 작성 방법의 예는 [그림 Ⅴ-6], [그림 Ⅴ-7]과 같다.

3. 2번에서 필요하다고 생각한 정보를 모든 과제에 대해서 모둠 친구들과 함께 구해봅시다. 구한 정보를 식, 그래프, 표 등 다양한 수학 표현을 이용하여 제시하고, 해당 표현을 사용한 이유를 말해봅시다. 해당 표현을 사용한 이유가 타당한지 이야기 나누어보고, 타당하지 않다고 생각되면 타당하지 않은 이유를 제시합니다. 그리고 더 타당하다고 생각되는 새로운 표현을 제시합니다. 예를 들어, Yeony의 기준1에 맞는 과제를 선택하는데 필요한 정보가 열량이라고 생각한다면, '필요한 정보 : (열량)'을 기재하고 모든 과제의 열량을 수집한 뒤 수집한 값들을 표나 그래프, 식으로 표현합니다.

(1) 필요한 정보 : (　　　　)

수학 표현을 이용한 정보 제시 :   해당 표현을 사용한 이유 : 해당 표현을 사용한 이유 평가 :

[그림 Ⅴ-6] 초기 2차 교수실험 후 수정된 3번 문항 활동지

활동지와 활동지 문항별 답안 작성 방법의 수정은 다음과 같은 방향으로 이루어졌다. 첫째, 활동지의 경우, 활동지에 제시된 각각의 문항 중 상호보완적 상호작용 외에 갈등 기반과 메타인지적 상호작용이 요구되는 문항에 이들을 유도하기 위한 발문을 추가하였다(<표 Ⅴ-2>의 밑줄 참

<표 V-2> 초기 2차 교수실험 후 수정된 활동지 문항

활동지	문항
활동지 1	1번 문항 : 어떠한 상황인가요? 문제가 되는 상황은 무엇인지, 머릿속에 떠오르는 상황을 모둠 친구들과 함께 이야기해 봅시다.
	2번 문항 : 각 기준에 맞는 과자를 선택하기 위해 어떠한 정보가 필요한지 모둠 친구들과 함께 이야기해 봅시다. 가능한 많은 정보를 제시합니다.
활동지 2	3번 문항 : 2번에서 필요하다고 생각한 정보를 모든 과자에 대해서 모둠 친구들과 함께 구해봅시다. 구한 정보를 식, 그래프, 표 등 다양한 수학 표현을 이용하여 제시하고, 해당 표현을 사용한 이유를 말해봅시다. 해당 표현을 사용한 이유가 타당한지 이야기 나누어보고, 타당하지 않다고 생각되면 타당하지 않은 이유를 제시합니다. 그리고 더 타당하다고 생각되는 새로운 표현을 제시합니다. 예를 들어, Yeony의 기준1에 맞는 과자를 선택하는데 필요한 정보가 열량이라고 생각한다면, '필요한 정보 : (열량)'을 기재하고 모든 과자의 열량을 수집한 뒤 수집한 값들을 표나 그래프, 식으로 표현합니다.
활동지 3	4번 문항 : 3번 문항에서 '필요한 정보'로 제시한 정보들의 우선순위를 모둠 친구들과 함께 선정하고, 그 이유를 제시합니다. 제시된 이유는 논리적이어야 합니다. 제시된 이유가 타당한지 이야기 나누어 보고, 타당하지 않다면 타당하지 않은 이유를 제시한 뒤 새로운 순위를 제시합니다.
	5번 문항 :4번에서 선정한 우선순위에 맞추어 3번에서 확인한 과자별 정보를 모둠 친구들과 함께 검토해봅시다. 우선순위가 달라지면 선택될 수 있는 과자 또한 달라집니다. 그렇다면, 4번의 우선순위에 따른 과자의 정보를 어떻게 종합할 수 있을지, 지금까지 검토한 정보를 이용하여 최고의 과자를 선택할 수 있는 방법을 수학적으로 다양하게 제시해 봅시다. 제시한 방법들이 적절한지 이야기해 보고, 그 중 가장 적절한 방법을 선택합니다.
활동지 4	6번 문항 :5번에서 최종적으로 선택한 방법을 사용했을 때 얻어지는 '최고의 과자 2개'를 선택합니다. 그리고 지금까지의 활동결과를 이용하여, 타당한 근거와 함께, 최고의 과자 2개를 Yeony에게 추천하는 편지를 모둠별로 작성해 봅시다.

고). 둘째, 활동지 문항별 답안 제시 방법의 경우, 반복적인 갈등 기반 상호작용과 메타인지적 상호작용이 나타날 수 있도록 활동지 문항별 답

안 작성 방법을 구체적으로 제시하였다. 예를 들어, [그림 Ⅴ-6]과 [그림 Ⅴ-7]에서는 필요한 정보 혹은 수학적 모델 선정의 이유를 제시한 뒤, 그 이유를 다시 평가하는 문항을 구체적으로 제시하였다.

5. 4번에서 선정한 우선순위에 맞추어 3번에서 확인한 과자별 정보를 모둠 친구들과 함께 검토해 봅시다. 우선순위가 달라지면 선택될 수 있는 과자 또한 달라집니다. 그렇다면, 4번의 우선순위에 따른 과자의 정보를 어떻게 종합할 수 있을지, 지금까지 검토한 정보를 이용하여 최고의 과제를 선택할 수 있는 방법을 수학적으로 다양하게 제시해 봅시다. 제시한 방법들이 적절한지 이야기해 보고, 그 중 가장 적절한 방법을 선택합니다.

방법 1 : (   ) 방법 1을 선택한 이유 및 적절성 평가 :
방법 2 : (   ) 방법 2를 선택한 이유 및 적절성 평가 :
방법 3 : (   ) 방법 3을 선택한 이유 및 적절성 평가 :
최종 방법 선택 및 그 이유

[그림 Ⅴ-7] 초기 2차 교수실험 후 수정된 5번 문항 활동지

추가적으로, 3번 문항의 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에서 다양한 수학적 표현을 제시하는 집단 유창성을 유도하기 위하여 교사가 '5개의 수학적 표현이 모두 달라야 한다.'는 안내를 제시하도록 하였다. 이는 다양한 표현을 제시하기 위한 집단 내 상호작용의 강화로 이어지며, 수업 설계의 원리 중 PMG-C1의 강화를 가져온다.

1.3. 초기 3차 교수실험 및 수정

초기 2차 교수실험 및 수정 결과, 과제와 활동지 문항이 각 유형의 상호작용을 구체적으로 유도하는 방향으로 수정되었다. 즉, PMG-C4가 강화되는 방향으로 자료의 수정이 이루어졌다. 수정된 자료를 이용한 초기 3차 교수실험 결과, 초기 2차 교수실험과 비교하면, 활동지 수행 시 좀

더 적극적이고 다양한 유형의 상호작용이 관찰되었다. 다만, 의도한 유형의 상호작용과 창의적 시너지 발생이 미흡하다는 문제점이 여전히 존재하였으며, 자료의 수정 방향 역시 상호작용, 특히 메타인지적 상호작용을 유도하기 위한 방향으로 수정이 이루어졌다. 더불어, 학생들의 역할분담 수행과 교사의 안내자 역할 수행 강화가 요구되었다. 구체적인 교수실험 결과와 그에 따른 자료 수정의 방향은 다음과 같다.

1.3.1. 초기 3차 교수실험 결과

수정된 과제와 활동지를 적용한 초기 3차 교수실험 결과, 학생들의 문항과 활동에 대한 이해도가 높아짐에 따라 상호작용이 좀 더 적극적이고 다양하게 나타났다. 다만, 다음의 교사 인터뷰에서 확인할 수 있듯이, 일부 집단에서 문항에 대한 비판적 검토가 한 명의 의견에 동조하는 경향을 보였다.

T : 의견을 말하는 친구가 얘기하면 그냥 그런가? 이런 (모습이 보였어요).
R : 연구자의 의도는 학생들의 생각이 다 다를 거라고 생각했는데, <u>의견이 비슷해서 갈등 발생 자체가 차단된 게 아닌가라는 생각이 들었어요</u>. 갈등유발자 학생의 역할이 좀 더 보완되어야 할 것 같아요.

(중략)

T : <u>얘들이 (내가 진짜 비판해도 되는지) 눈치 보는 것 같기도 했어요. (중략) 학생들에게 너는 비판해, 너는 뭘 해, 이렇게 좀 더 강하게 말하면 좀 더 정당성을 갖고 자유롭게 (역할을 수행)하지 않을까. (중략) 역할분담이 강화되면 상호작용이 좀 더 활발하게 이루어지지 않을까.</u>

이에 대하여, 연구 참여 교사와의 인터뷰에서 확인할 수 있듯이, 문항에서 의도하는 상호작용을 유도하기 위해 학생 역할분담의 강화가 요구된다. 이는 수업 설계의 원리 중 특히 활동지 구성과 관련한 원리인 PMG-C4와 학생의 역할분담과 관련한 원리인 PMG-C6이 더욱 구체적으로 반영되어야 함을 보여준다. 나아가, 자유롭게 의견을 제시하는 분위

기와 상호작용을 안내하는 교사의 역할이 강화되는 등 PMG-C1과 PMG-C5도 함께 강화되어야 함을 보여준다.

1.3.2. 초기 3차 교수실험 후 수업 및 자료 수정

교사 인터뷰와 연구자 현장 노트 작성 결과를 토대로, 활동지와 교사 지도안이 수정되고, 수업설계안에는 수정된 자료가 반영되었다. 이때, 자료의 수정은 PMG-C1, C5, C6이 강화되는 방향으로 이루어졌다. 구체적인 수정 결과는 다음과 같다.

1.3.2.1. 초기 3차 교수실험 후 수정된 활동지

수정된 활동지 문항은 <표 Ⅴ-3>과 같다. 이때, 활동지 문항은 메타인지적 상호작용을 구체적으로 유도하는 방향으로 수정되었다. 예를 들어, 위의 <표 Ⅴ-3>에 제시된 활동지 4의 6번 문항의 경우, '5번의 답에 제시된 과자들의 랭킹은 서로 같은가요, 다른가요? 만약 랭킹이 서로 다르다면, 최고의 과자를 어떻게 선정할 수 있을까요? 서로 다른 랭킹들을 종합적으로 이용하여 최고의 과자 2개를 선택할 수 있는 방법을 3가지 생각해 봅시다.'와 같이 구성하여 과정을 반복적으로 검토할 수 있게 하였다.

또한, 수학적으로 다양하게 표현하기 단계를 수행하는 3번 문항의 경우, '2번에서 필요하다고 생각한 정보를 모든 과자에 대해서 모둠 친구들과 함께 구해봅시다. 구한 정보를 식, 그래프, 표 등 다양한 수학 표현을 이용하여 제시하고, 해당 표현을 사용한 이유를 말해봅시다. 해당 표현을 사용한 이유가 타당한지 이야기 나누어보고, 타당하지 않다고 생각되면 타당하지 않은 이유를 제시합니다. 그리고 더 타당하다고 생각되는 새로운 표현을 제시합니다.'라고 구성하였다. 학생들은 표현을 선택한 이유를 반성하며, 그 이유의 타당성에 대해 다시 한번 반성하게 된다. 수학적으로 다양하게 표현하기에 대한 수정 및 개선이 반복적으로 이루어질 수

있는 것이다.

<표 Ⅴ-3> 초기 3차 교수실험 후 수정된 활동지 문항

활동지	문항
활동지 1	1번 문항 : 어떠한 상황인가요? 문제가 되는 상황은 무엇인지, 머릿속에 떠오르는 상황을 모둠 친구들과 함께 이야기해 봅시다.
	2번 문항 : 각 기준에 맞는 과자를 선택하기 위해 어떠한 정보가 필요한지 모둠 친구들과 함께 이야기해 봅시다. 가능한 많은 정보를 제시합니다.
활동지 2	3번 문항 : 2번에서 필요하다고 생각한 정보를 모든 과자에 대해서 모둠 친구들과 함께 구해봅시다. 구한 정보를 식, 그래프, 표 등 다양한 수학 표현을 이용하여 제시하고, 해당 표현을 사용한 이유를 말해봅시다. 해당 표현을 사용한 이유가 타당한지 이야기 나누어보고, 타당하지 않다고 생각되면 타당하지 않은 이유를 제시합니다. 그리고 더 타당하다고 생각되는 새로운 표현을 제시합니다. 예를 들어, Yeony의 기준1에 맞는 과자를 선택하는데 필요한 정보가 열량이라고 생각한다면, '필요한 정보 : (열량)'을 기재하고 모든 과자의 열량을 수집한 뒤 수집한 값들을 표나 그래프, 식으로 표현합니다.
활동지 3	4번 문항 : 3번 문항에서 '필요한 정보'로 제시한 열량, 나트륨과 같은 정보들을 가장 중요한 순으로 3가지 선정하고, 그 이유를 제시합니다. 제시된 이유가 타당한지 이야기 나누어 봅시다.
	5번 문항 : 4번에서 선정한 중요도에 따라, 3번의 답에 제시된 과자별 정보를 다시 살펴봅시다. 각 중요도에 따른 과자 랭킹을 정합니다.
활동지 4	6번 문항 : 5번의 답에 제시된 과자들의 랭킹은 서로 같은가요, 다른가요? 만약 랭킹이 서로 다르다면, 최고의 과자를 어떻게 선정할 수 있을까요? 서로 다른 랭킹들을 종합적으로 이용하여 최고의 과자 2개를 선택할 수 있는 방법을 3가지 생각해 봅시다.
	7번 문항 : 6번에서 살펴본 3가지 방법 중 가장 적절한 방법을 선택하고, 다른 방법에 비해 더 적절하다고 생각한 이유를 말해봅시다.
활동지 5	8번 문항 : 지금까지의 분석결과를 이용하여 Yeony에게 최고의 과자 2개를 추천하는 편지를 작성하려고 합니다. 아래에 편지 내용을 대략적으로 스케치해 보고, 편지지에 편지를 작성합니다.

활동지 문항과 함께 활동지 문항별 답안 작성 방법 역시 PMG-C4를

강화하는 방향으로 수정되었다. 예를 들어, 4번 문항 해결을 위해 실제로 학생들에게 제공된 활동지는 [그림 Ⅴ-8]과 같다. [그림 Ⅴ-8]에서 확인할 수 있듯이, 해당 표현을 사용한 이유와 해당 표현을 사용한 이유에 대한 평가를 별도로 제시하여 학생들의 수정 및 개선 활동, 즉, 메타인지적 상호작용이 반복적으로 이루어질 수 있도록 하였다.

4. 3번 문항에서 '필요한 정보'로 제시한 열량, 나트륨과 같은 정보들을 가장 중요한 순으로 3가지 선정하고, 그 이유를 제시합니다. 제시된 이유가 타당한지 이야기 나누어 봅시다.

가장 중요한 정보 : 두 번째로 중요한 정보 : 세 번째로 중요한 정보 : 위와 같은 중요도 선정의 기준(이유) :   기준(이유)의 타당성 :

[그림 Ⅴ-8] 초기 3차 교수실험 후 수정된 4번 문항 활동지

결과적으로, 초기 3차 교수실험 후 활동지는 PMG-C4를 강화하는 방향으로 수정되었다. 이때, 수정된 활동지의 수학적 모델링 단계별 기대되는 주된 집단 창의성은 <표 Ⅴ-4>와 같다.

<표 Ⅴ-4> 초기 3차 교수실험 후 수정된 활동지의 각 문항 해결 과정에서 기대되는 주된 집단 창의성

<table>
<tr><th rowspan="2">문항</th><th rowspan="2">수학적 모델링 과정</th><th colspan="2">기대되는 집단 창의성</th></tr>
<tr><th>기대되는 주된
상호작용</th><th>기대되는 주된 창의적
시너지</th></tr>
<tr><td>1번</td><td>실세계 탐구</td><td rowspan="2">상호보완적</td><td rowspan="2">- 집단 유창성
: 집단의 사고 확장</td></tr>
<tr><td>2번</td><td>문제에 영향 미치는
요인 찾기</td></tr>
<tr><td>3번</td><td>수학적으로 다양하게
표현하기</td><td rowspan="3">상호보완적
갈등 기반
메타인지적</td><td rowspan="3">- 집단 융통성
: 관점의 전환
- 집단 유창성
: 집단의 사고 확장
- 집단 정교성
: 사고 검증과 타당화
: 모델의 정교화</td></tr>
<tr><td>4번</td><td>단순화하기</td></tr>
<tr><td>5번</td><td>요소 사이 관계 찾기</td></tr>
<tr><td>6번</td><td>수학적 모델 도출
수학적 결과
실세계 적용</td><td>상호보완적
메타인지적</td><td>- 집단 유창성
: 다양한 모델 제시
- 집단 정교성
: 모델의 정교화</td></tr>
<tr><td>7번
8번</td><td>최종 모델 도출</td><td>메타인지적</td><td>- 집단 정교성
: 사고 검증과 타당화
: 모델의 정교화</td></tr>
</table>

1.3.2.2. 초기 3차 교수실험 후 수정된 교사지도안과 수업설계안

초기 3차 교수실험 후 진행된 교사 인터뷰에서도 확인할 수 있듯이, 연구자뿐 아니라 교사도 상호작용을 강조하는 안내자의 역할이 중요함을 인지하였다. 이에 따라, 초기 3차 교수실험 후 교사지도안은 PMG-C1을 강화하는 방향으로 수정되었다. <표 Ⅴ-4>를 통해 활동지 문항별로 기대되는 주된 상호작용을 확인한 뒤, 해당 유형의 상호작용을 강조하기 위한 발문의 예를 추가하였다. 예를 들어, 활동지3의 4번 문항([그림 Ⅴ-8] 참고)의 경우, 문항 해결 과정에서 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 기대됨을 확인한 뒤, 초기 교수실험 과정에서 잘 나타나

지 않았던 갈등 기반과 메타인지적 상호작용을 유도하고자 하였다. 이를 위해, [그림 Ⅴ-9]와 같이 갈등 기반과 메타인지적 상호작용을 유도할 수 있는 발문의 예를 제시하였다.

<표 Ⅴ-2>, PMG-C4

[그림 Ⅱ-5]

4. **<상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용>** 3번 문항에서 '필요한 정보'로 제시한 열량, 나트륨과 같은 정보들을 가장 중요한 순으로 3가지 선정하고, 그 이유를 제시합니다. 제시된 이유가 타당한지 이야기 나누어 봅시다. **<15분> 이 문항은 수학적 모델링 과정 중 '단순화하기' 단계에 해당하는 문항입니다.**

가장 중요한 정보 :

두 번째로 중요한 정보 :

세 번째로 중요한 정보 :

위와 같은 중요도 선정의 기준(이유) :

예상반응

▸ 예상 반응: '돈이 있어야 사먹을 수 있으니까 금액이 중요하다' 등의 현실적인 이유 제시

PMG-C1

▸ 대처1. Yeony가 제시한 기준은 어떻게 할건지 살펴볼 것을 발문합니다. 이에 대해, 학생들은 기준 3개에 맞는 정보를 한 개씩 제시할 수 있습니다. 혹은 기준 2개에 동시에 속하는 정보(지방)를 중요한 정보로 볼 수 있습니다.

▸ 대처2. 3번에서 제시한 표를 보면서 과자별 정보를 수학적으로 분석할 것을 발문합니다. '00은 과자별로 편차가 없어서 중요한 정보라고 할 수 없다.'는 반응이 나올 수 있습니다.

▸ 되도록 직접적으로 언급하기 보다, 운을 띄우는 정도로 발문을 제공합니다. '이유가 현실적인데, 갈등유발자가 다른 이유를 한 번 제시해볼까?'라는 발문을 통해 역할을 강조하고 학생들 스스로 다른 이유를 찾을 수 있도록 합니다.

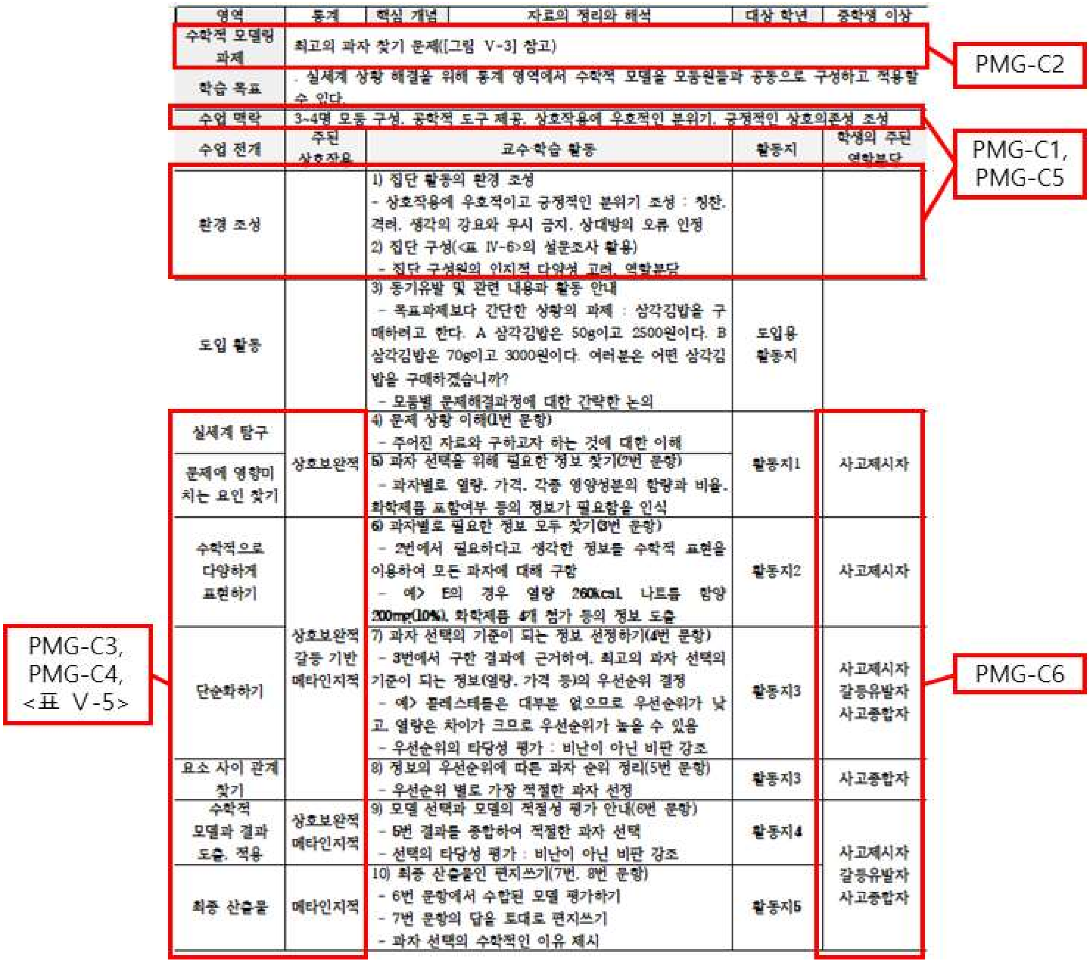
기준(이유)의 타당성 :

▸ 타당성은 꼭 여기에 쓰라고 제시한 것이 아니고, 상호작용 과정에서 평가를 유도하기 위함입니다. 꼭 쓰지 않아도 되며, 상호작용하면서 친구들이 제시한 이유를 서로서로 평가할 것을 강조합니다.

예를 들어, 대처2를 먼저 제시한 학생에게, 다른 학생이 'Yeony가 제시한 3개 기준도 고려해야 하는 거 아니야?'라고 말하면서 이유의 타당성을 검토할 수 있습니다.

[그림 Ⅴ-9] 초기 3차 교수실험 후 수정된 교사지도안

지금까지의 논의와 수집된 자료가 반영된 수업설계안은 [그림 Ⅴ-10]과 같다. 후기 교수실험은 [그림 Ⅴ-10]에 설계된 수업으로 진행되었다.



영역	통계	핵심 개념	자료의 정리와 해석	대상 학년	중학생 이상
수학적 모델링 과제	최고의 과자 찾기 문제([그림 Ⅴ-3] 참고)				
학습 목표	· 실세계 상황 해결을 위해 통계 영역에서 수학적 모델을 모둠원들과 공동으로 구성하고 적용할 수 있다.				
수업 맥락	3~4명 모둠 구성, 공학적 도구 제공, 상호작용에 우호적인 분위기, 긍정적인 상호의존성 조성				

수업 전개	주된 상호작용	교수학습 활동	활동지	학생의 주된 역할분담
환경 조성		1) 집단 활동의 환경 조성 - 상호작용에 우호적이고 긍정적인 분위기 조성 : 칭찬, 격려, 생각의 강요와 무시 금지, 상대방의 오류 인정 2) 집단 구성(<표 Ⅳ-6>의 설문조사 활용) - 집단 구성원의 인지적 다양성 고려, 역할분담		
도입 활동		3) 동기유발 및 관련 내용과 활동 안내 - 목표과제보다 간단한 상황의 과제 : 삼각김밥을 구매하려고 한다. A 삼각김밥은 50g이고 2500원이다. B 삼각김밥은 70g이고 3000원이다. 여러분은 어떤 삼각김밥을 구매하겠습니까? - 모둠별 문제해결과정에 대한 간략한 논의	도입용 활동지	
실세계 탐구	상호보완적	4) 문제 상황 이해(1번 문항) - 주어진 자료와 구하고자 하는 것에 대한 이해	활동지1	사고제시자
문제에 영향미치는 요인 찾기		5) 과자 선택을 위해 필요한 정보 찾기(2번 문항) - 과자별로 열량, 가격, 각종 영양성분의 함량과 비율, 화학제품 포함여부 등의 정보가 필요함을 인식		
수학적으로 다양하게 표현하기		6) 과자별로 필요한 정보 모두 찾기(3번 문항) - 2번에서 필요하다고 생각한 정보를 수학적 표현을 이용하여 모든 과자에 대해 구함 - 예> E의 경우 열량 260kcal, 나트륨 함량 200mg(10%), 화학제품 4개 첨가 등의 정보 도출	활동지2	사고제시자
단순화하기	상호보완적 갈등 기반 메타인지적	7) 과자 선택의 기준이 되는 정보 선정하기(4번 문항) - 3번에서 구한 결과에 근거하여, 최고의 과자 선택의 기준이 되는 정보(열량, 가격 등)의 우선순위 결정 - 예> 콜레스테롤은 대부분 없으므로 우선순위가 낮고, 열량은 차이가 크므로 우선순위가 높을 수 있음 - 우선순위의 타당성 평가 : 비난이 아닌 비판 강조	활동지3	사고제시자 갈등유발자 사고종합자
요소 사이 관계 찾기		8) 정보의 우선순위에 따른 과자 순위 정리(5번 문항) - 우선순위 별로 가장 적절한 과자 선정	활동지3	사고종합자
수학적 모델과 결과 도출, 적용	상호보완적 메타인지적	9) 모델 선택과 모델의 적절성 평가 안내(6번 문항) - 5번 결과를 종합하여 적절한 과자 선택 - 선택의 타당성 평가 : 비난이 아닌 비판 강조	활동지4	사고제시자 갈등유발자 사고종합자
최종 산출물	메타인지적	10) 최종 산출물인 편지쓰기(7번, 8번 문항) - 6번 문항에서 수합된 모델 평가하기 - 7번 문항의 답을 토대로 편지쓰기 - 과자 선택의 수학적인 이유 제시	활동지5	

[그림 Ⅴ-10] 초기 3차 교수실험 후 수정된 수업설계안

2. 후기 교수실험[27)28)]

3차에 걸쳐 수행된 초기 교수실험의 결과, 교수·학습자료와 수업은 특히 PMG-C1, C4, C6을 강화하는 방향으로 수정되었다. 아래에서는 초기 교수실험을 통해 정련된 자료([그림 Ⅴ-3], <표 Ⅴ-3>, [그림 Ⅴ-9], [그림 Ⅴ-10])를 이용하여 후기 교수실험을 진행한 결과를 분석한다. 이

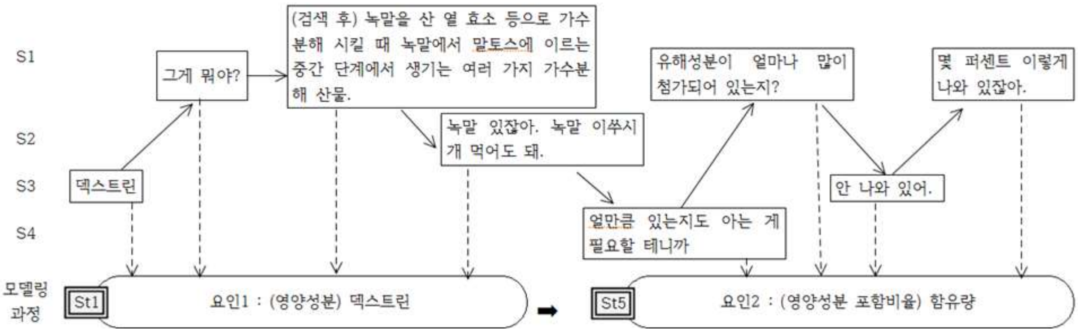
27) 이 절의 연구는 서울대학교 생명윤리위원회의 승인을 받고 진행하였다(승인번호 IRB No. 1811/001-004).
28) 이 절의 내용은 정혜윤, 이경화(2019b, 2019c)를 요약 및 보완한 것이다.

에 대한 논의는 수학적 모델링에서 집단 창의성 발현 모습을 보여주는 것으로, 연구문제 2에 답하기 위한 직접적인 실제적 검증의 과정을 보여준다.

후기 교수실험에서, 학생들은 <표 V-3>의 1번 문항을 통해 과제의 전체적인 맥락을 확인하였으며, 2번 문항에서 구체적으로 문제해결을 위해 필요한 정보, 즉 문제에 영향 미치는 요인을 추출하였다. 2번 문항을 토대로 3번 문항에서는 문제에 영향 미치는 요인을 수학적으로 다양하게 표현해보는 활동을 하였으며, 이 결과를 토대로 4번 문항에서는 문제에 영향을 미치는 주요 요인을 추출하였다. 과제에 주어진 맥락을 단순화한 것이다. 4번 문항에서 추출한 요인을 이용하여 5번 문항에서는 주요 요인 사이의 관계를 찾고, 6번 문항에서는 주요 요인 사이의 관계를 종합적으로 반영할 수 있는 수학적 모델을 다양하게 제시하고 수학적 모델에서의 수학적 결론을 얻고 다시 과제의 실세계 맥락에 적용하였다. 이후 7번 문항에서는 6번 결과를 이용하여 수학적 모델을 비판적으로 검토한 뒤, 최종 모델을 도출하였다.

2.1. 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계

학생들은 1번 문항에서 과제의 전체적인 맥락을 확인하고, 2번 문항에서 구체적으로 문제해결을 위해 필요한 정보, 즉, 문제에 영향 미치는 요인을 수집하였다. [그림 V-11]은 5조가 Yeony의 기준에 맞추어 문제에 영향 미치는 요인을 찾는 상호작용의 대표 사례를 보여준다.



[그림 Ⅴ-11] 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계에서 관찰된 5조의 상호작용 사례

[그림 Ⅴ-11]의 연결된 화살표의 진행 방향에 따라 살펴보면, 처음에 S53이 Yeony가 제시한 기준 2에 영향을 미치는 과자 성분을 찾는 과정에서 과자의 주원료에 제시된 '덱스트린'을 언급하자, S51은 S53의 사고를 따라가면서 덱스트린이 기준 2에 해당하는 유해성분인지 여부를 확인하기 위해 인터넷을 검색하여 덱스트린의 정의를 확인하였다. S51이 말한 덱스트린의 정의에 '녹말'이 언급되자 S52가 녹말은 유해성분이 아니라는 의견을 제시하였다(St1). 어떠한 성분이 유해성분인지 아닌지에 대한 논의가 진행되는 가운데, S54는 과자의 주원료에 유해성분이 포함되었는지 여부뿐 아니라 포함비율도 중요하다는 의견을 제시하였다. 이후 집단 구성원들은 S54의 의견에 따라가면서 각 유해성분의 포함비율을 수집 및 공유하였다(St2).

[그림 Ⅴ-11]에서 확인할 수 있듯이, 집단 구성원들은 수학적 모델링 과제에서 Yeony가 제시한 기준을 충족시키기 위해 과자의 영양성분 정보를 누적적으로 수집, 공유하였다. 즉, [그림 Ⅴ-11]의 사례는 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계에서 누적적인 정보 수집과 공유를 통해 집단 내 정보가 '영양성분'으로부터 '영양성분 포함비율'로 확장되는 상호보완적 상호작용 과정을 보여준다. 이때, 구성원의 사고를 다른 구성원이 따라가면서 집단 내 사고가 확장되는 집단 유창성이 나타났으며, 이는 수학적 모델링 과제 해결을 위해 문제에 영향 미치는 다양한 요인을 확인할 수 있게 하였다. 결과적으로, 집단 구성원들은 아래의 [그림 Ⅴ-12]와

같이 다양한 정보를 수집하였다.

[그림 V-12] 5조의 2번 문항 활동지

5조 외의 다른 조에서도 상호보완적 상호작용과 그에 따른 집단 유창성 발생이 관찰되었다. 요약하자면, 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계에서 관찰된 상호작용 유형과 창의적 시너지는 <표 V-5>와 같다.

<표 V-5> 5조의 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계에서 관찰된 집단 창의성

상호작용 유형	창의적 시너지
상호보완적	- 집단 유창성 : 집단 내 공유되는 요인의 종류 확장

2.2. 수학적으로 다양하게 표현하기 단계

학생들은 1번 문항을 통해 과제에 주어진 실세계 맥락을 확인한 뒤, 2번 문항에서 Yeony가 제시한 기준을 충족시키는 데 필요한 과자의 정보(예를 들어, 가성비, 열량, 포화지방 등)를 확인하였다. 이후 3번 문항에서는 Yeony가 제시한 각 기준을 충족시키기 위해 확인해야 하는 가장 중요한 정보 다섯 가지를 선별[29]한 뒤, 해당 정보에 대한 과자별 함유량

29) 2번에서 문제에 영향을 미치는 다양한 요소를 도출한 뒤, 3번 문항에서 이 중 5개를 선발하고 5번 문항에서 다시 3개를 선발하는 과정을 거쳐 단순화하기가 진행되었다. 즉, 3번 문항에서는 단순화하기와 수학적으로 다양하게 표현하

(예를 들어, 칼로리의 경우, B는 260kcal, I는 440kcal 등)을 다양한 수학적 표현을 사용하여 제시하였다.

해당 정보에 대한 과자별 함유량 등을 분석하기 위해 수집한 자료를 표현하는 과정에서, 학생들은 막대그래프, 표, 부등식, 원그래프 등 다양한 수학적 표현을 사용하였다. 학생들은 동일한 정보를 표현하기 위해 서로 다른 수학적 표현을 사용하기도 하였으며, 동일한 수학적 표현을 사용하여 서로 다른 정보를 표현하기도 하였다.[30] 이때, 정보 표현을 위해 어떤 표현이 가장 적절한지에 대한 논의 과정에서, 모든 집단에서 상호보완적 상호작용이 나타났으며, 집단에 따라 갈등 기반 상호작용과 메타인지적 상호작용이 선택적으로 나타났다. 구체적으로, 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 모두 순환, 반복적으로 발생한 사례와 상호보완적 상호작용과 갈등 기반 상호작용이 순환, 반복적으로 발생한 사례가 관찰되었다. 이때, 집단별 상호작용 발생 사례에 따라 창의적 시너지와 수학적 모델링 활동의 지원 방향 역시 다르게 나타났다. 아래에서는 각각의 대표 사례를 분석한다.

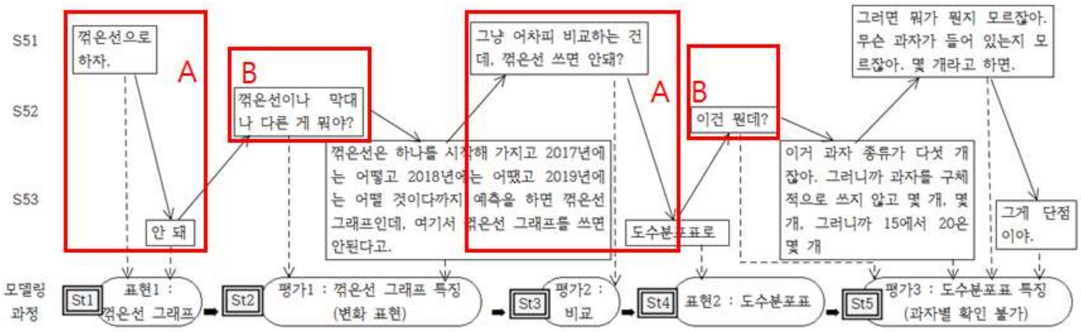
2.2.1. 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용의 순환적 발생 사례

[그림 Ⅴ-13]은 5조가 과자 분석을 위해 필요한 정보로 ‘당류’를 선정한 뒤, 다섯 종류의 과자에 포함된 당류를 비교하기 위해 적절한 수학적 표현을 찾는 과정을 보여준다. 처음에 S51이 꺾은선그래프로 할 것을 제

기 단계가 함께 수행되었다. 다만, 3번 문항의 경우 수학적으로 다양하게 표현하는 활동에 좀 더 집중되었다. 이에 따라 단순화하기 단계에 대한 분석은 4번 문항 해결 과정에서 제시한다.

30) 예를 들어, 3조와 5조는 동일한 정보 ‘당류’를 각각 꺾은선그래프와 표를 사용하여 다르게 표현하였으며, 2조와 4조는 ‘막대그래프’를 이용하여 각각 탄수화물과 나트륨이라는 서로 다른 정보를 표현하였다. 이는 모둠 구성원이 달라짐에 따라 같은 부분을 탐구하더라도 다른 성질을 찾아내거나 같은 성질을 다른 표현으로 나타내기도 한다는 성지현, 이종희(2017b)의 연구결과와도 일치한다.

안하자 S53이 안 된다는 반대 의견을 제시하였다(St1). S53의 의견에 대해 S52가 꺾은선그래프와 막대그래프의 차이를 질문하자, S53은 꺾은선그래프의 의미에 대해 언급하며 다섯 종류의 과자에 포함된 당류를 표현하기에 적절하지 않다고 평가하였다(St2). 하지만 이에 대해 S51은 꺾은선그래프가 비교의 의미도 있다고 평가하면서, 꺾은선그래프를 사용할 수 있다는 주장을 하였다(St3). 이후 S53은 도수분포표와 같은 새로운 표현을 제시하였지만(St4), 이어진 S52의 질문과 S51의 평가에 따라 정보를 표현하기에 적절하지 않다는 결론이 지어졌다(St5).



[그림 Ⅴ-13] 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에서 관찰된 5조의 상호작용 사례

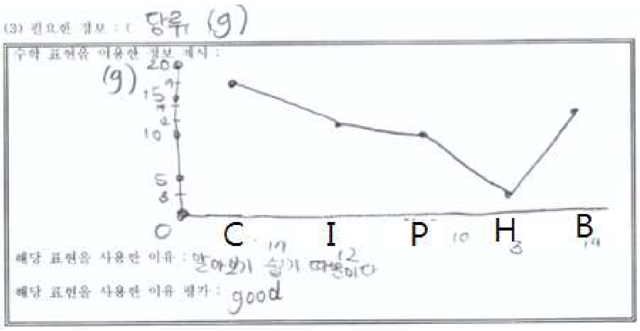
[그림 Ⅴ-13]에서 관찰되는 상호작용과 창의적 시너지를 살펴보면, 5조 학생들이 과자에 포함된 당류를 표현하기 위해 적절한 수학적 표현을 찾는 과정에서 막대그래프, 꺾은선그래프, 도수분포표 등 다양한 표현을 제시하는 상호보완적 상호작용이 나타났다. 그리고 상호보완적 상호작용은 집단 내 수학적 표현과 방법에 대한 아이디어가 증가하는 집단 유창성 발생으로 이어졌다. 이후 다양한 표현 중 가장 적절한 표현을 찾는 과정에서 반대 의견을 제시하거나 각 표현을 평가하는 등 갈등 기반 상호작용과 메타인지적 상호작용이 나타나기도 하였다. 구체적으로, [그림 Ⅴ-13]의 A에서 S51의 제안에 대해 S53이 반대 의견을 제시하면서 갈등이 유도되었다. 모둠 내 갈등 상황이 발생하자, B에서 S52는 모델의 차이점 등에 대한 질문을 제시하여 S51과 S53이 제시한 표현(꺾은선그래

프, 도수분포표)의 적절성에 대한 집단 내 평가의 기회를 제공하였다. 제시된 사고를 검증해봄으로써, 갈등 기반 상호작용이 메타인지적 상호작용으로 연결될 수 있는 계기를 제공한 것이다. 이러한 역할은 역할분담 중 '사고종합자'에 해당하는 것으로, S52가 맡은 역할과 일치한다. S52의 충실한 역할 수행이 메타인지적 상호작용을 이끌었다고 볼 수 있다.

St2에서, S53은 꺾은선그래프의 개념에 근거하여, 과자에 포함된 당류가 연속적으로 변화하는 양이 아니므로 꺾은선그래프를 사용할 수 없다고 주장했다. 실제로, 교과서에서는 꺾은선그래프를 '연속적으로 변화하는 양을 점으로 찍고 그 점들을 선분으로 연결하여 나타낸 그래프', 막대그래프를 '조사한 수를 막대 모양으로 나타낸 그래프'라고 제시하고 있다. 반면, St3에서, S51은 의미와 상관없이 꺾은선그래프가 한 눈에 비교하기 편리하다는 장점이 있으므로 활용 가능하다는 새로운 관점을 피력하였다. 연속적으로 변화하는 양을 꺾은선그래프로 표현해야 하지만, 연속하지 않은 경우에도 편리한 비교를 위해 꺾은선그래프를 사용할 수 있다는 입장으로 볼 수 있다. S53이 기존에 학습한 수학적 표현을 그대로 활용하고자 하였다면, S51은 의미를 변형하여 활용하고자 한 것이다. 즉, 5조에서 발생한 갈등 기반 상호작용은 꺾은선그래프를 해석하는 관점이 다양하게 수집되는 집단 유창성과 집단 융통성의 발생으로 이어졌다. 이후 St5에서는 S53이 S51의 의견에 반대하는 과정에서 도수분포표라는 또 다른 수학적 표현이 제안되었는데, 이는 갈등 기반 상호작용 과정에서 표현의 수가 증가하는 집단 유창성이 발생한 것으로 볼 수 있다. 이어서, 도수분포표의 장단점에 대해 검토하면서 주어진 상황을 나타내는데 가장 적절한 표현을 검토하는 등 메타인지적 상호작용 과정에서의 집단 정교성이 발생하였다.

결과적으로, 5조는 엄밀한 수학적 개념보다 편리성에 중점을 둔 S51의 의견이 타당하다고 판단하고, 아래의 [그림 Ⅴ-14]와 같이 꺾은선그래프를 이용하여 당류를 표현하였다. [그림 Ⅴ-14]의 표현은 꺾은선그래프의 쓰임새를 새로운 관점에서 재해석한 결과물로, 5조에서 발생한 집단 독창성을 보여준다. 5조 외에 2조와 3조에서도 수치 비교 시의 편리성을

내세우며 꺾은선그래프를 이용하여 과자별 정보를 정리하였다.



[그림 Ⅴ-14] 5조의 꺾은선그래프를 이용한 표현

5조에서 관찰된 사례는 상호보완적 상호작용이 집단 구성원들에게 다양한 수학적 표현을 경험할 수 있는 기회를 제공할 수 있음을 보여준다. 또한, 이 중 적절한 표현을 선택하는 과정에서 나타난 갈등 기반과 메타인지적 상호작용이 집단 내 주어진 상황을 고려한 표현을 선택하고, 여러 가지 표현의 장단점과 쓰임새를 학습할 수 있는 기회를 제공할 수 있음을 보여준다. 여러 수학적 표현들에 대한 이해의 향상을 통해 결과물의 완성도가 높아지는 집단 정교성이 나타날 수 있음을 보여주는 것이다. 실제로, 활동이 끝난 후 이어진 인터뷰에서, S53은 “모둠 활동을 통해 의견을 다양하게 얻을 수 있었으며 반론이 오고 가면서 의견을 보충하거나 새로운 의견을 접할 수 있어서 도움이 되었다.”라고 하였다. 이는 수학적 모델링 활동에서 다양한 표현의 개발이 개념체계의 변화를 이끈다는 Lesh & Doerr(2003, pp. 19-20, 2012, p. 375)의 연구결과와도 맥락을 같이 한다.

메타인지적 상호작용은 과자를 표현하는 방법에 초점을 둔 논의를 수학적 개념에 초점을 둔 논의로 전환시킬 수 있는 기회를 제공하였다. 과자에 포함된 당류를 표현하는 방법을 찾는 과정에서 표현 자체의 의미와 필요성에 주목하게 된 것이다. 실제로, 활동 후 인터뷰에서 S52는 “모둠 활동으로 수학적인 표현을 제시하면서 수학적인 표를 기억나게 하였다.” 라고 하는 등 수학적인 표현 자체를 탐구할 수 있는 기회가 주어졌음을

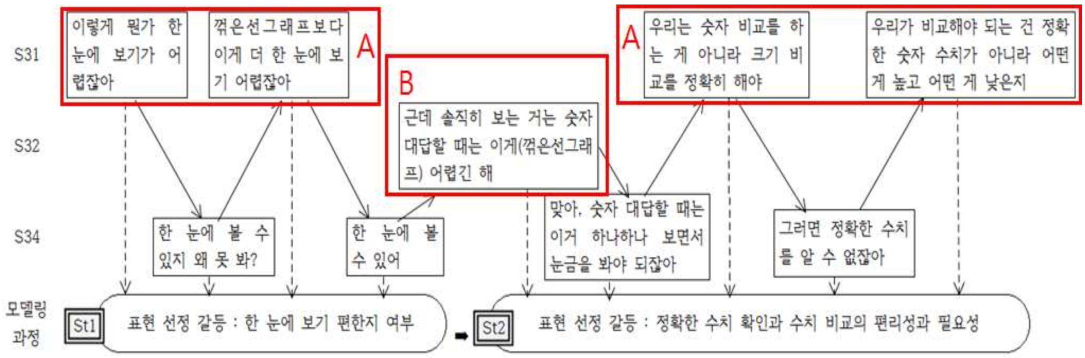
확인할 수 있었다. 5조의 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에서 관찰된 상호작용 유형과 창의적 시너지는 아래의 <표 Ⅴ-6>과 같다.

<표 Ⅴ-6> 5조의 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에서 관찰된 집단 창의성

상호작용 유형	창의적 시너지
상호보완적	- 집단 유창성 : 다양한 수학적 표현 방법 공유
갈등 기반	- 집단 유창성 : 꺾은선그래프를 해석하는 관점의 수 증가 : 다양한 수학적 표현 방법 공유 - 집단 융통성 : 새로운 관점에서 수학적 표현의 재해석
메타인지적	- 집단 정교성 : 제시된 표현(장단점 등의 특징)의 이해 : 주어진 상황을 고려한 표현 선택 - 집단 독창성 : 새로운 표현 방법(서로 다른 개체의 비교를 위해 꺾은선그래프 활용) 선택

2.2.2. 상호보완적, 갈등 기반 상호작용의 순환적 발생 사례

3조 역시 과자 분석을 위해 필요한 정보의 하나로 ‘당류’를 선정한 뒤, 상호보완적 상호작용을 통해 다섯 종류의 과자에 포함된 당류를 비교하는데 수학적 표현으로 꺾은선그래프, 표, 막대그래프를 집단 내에서 공유하였다. 이후, 적절한 표현을 선택하는 과정에서 구성원 사고 간의 불일치가 갈등 기반 상호작용을 유발하였다. [그림 Ⅴ-15]는 S31과 S34가 각각 꺾은선그래프와 표가 정보 표현에 적절함을 주장하면서 갈등 기반 상호작용이 발생한 사례를 보여준다.



[그림 Ⅴ-15] 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에서 관찰된 3조의 상호작용 사례

[그림 Ⅴ-15]의 연결된 화살표의 진행 방향에 따라 논의를 살펴보면, S31이 표는 과자별 당류 함량의 높고 낮음을 한눈에 파악하기 어렵다는 의견을 제시하자, S34는 표의 특성 등 구체적인 이유에 대한 언급 없이 S31의 의견에 반대 의견을 제시하였다(St1). 표를 이용해 과자에 대한 정보를 한눈에 보기 편한지에 대해 구성원 간의 의견이 불일치하는 상황이다. 이러한 갈등 상황에서, S32는 정확한 수치 확인과 관련하여 꺾은선그래프보다 표가 더 편리하다는 의견을 제시하였다. S32의 발언으로 논의의 초점이 수치 비교를 한 눈에 할 수 있는지 여부에서 정확한 수치를 확인할 수 있는지 여부로 옮겨졌다. 이후 S34가 S32의 의견에 동의하면서 표의 적절성을 주장하였다. S34의 의견에 대해 S31이 정확한 수치의 확인이 아닌 수치의 비교가 필요함을 주장하였으나, S34가 반대 의견을 제시하면서 이에 대한 추가적인 논의가 이루어지지 못하였다(St2). 결과적으로, 3조는 [그림 Ⅴ-16]과 같이 표를 이용하여 다섯 종류의 과자에 포함된 당류를 제시하였다.

C	B	P	I	H
17%	14%	10%	12%	3%

[그림 Ⅴ-16] 3조의 표를 이용한 표현

3조에서 관찰된 상호보완적 상호작용은 집단 내 수학적 표현 방법에 대한 아이디어가 증가하는 집단 유창성 발생으로 이어졌다. 이후, [그림 Ⅴ-15]의 A에 제시된 S31의 의견은 수치의 대소 비교와 관련한 표와 그래프의 특징을, B에 제시된 S32의 의견은 정확한 수치 확인과 관련한 표와 그래프의 특징을 비교한다. 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에서 나타난 갈등 기반 상호작용이 수학적 표현의 장단점을 집단 내에서 공유하는 창의적 시너지, 즉 집단 정교성을 가져온 것이다. 하지만, S34는 A에 나타난 S31의 의견을 바탕으로 수학적 표현을 점검하기보다, S31의 의견보다 자신의 판단이 옳다는 방어적인 태도를 보였다. 사고종합자인 S32 역시 S31과 S34 사이의 상반된 의견을 비판적으로 검토하고 평가하지 못한 채 S34의 주장을 지지하는 모습을 보였다. 특히, 수치의 비교가 아닌 정확한 수치의 확인으로 논점을 이동시킴으로써 과제 맥락을 반영한 표현을 선정하는 데 어려움을 가져왔다. 이로 인해 S31과 S34의 의견은 메타인지적 상호작용으로 진행되지 못하고 갈등 기반 상호작용에 머무르게 되었으며, 과제 해결에 가장 적절한 표현을 종합적으로 검토하지 못하였다.

메타인지적 상호작용으로 연결되지 못한 3조의 갈등 기반 상호작용은 집단 내 사고를 확장시키긴 하였으나, 문제해결을 위해 가장 적절한 수학적 표현의 검토와 선택으로 이어지지 못한 한계를 지닌다. 3조의 사례는 갈등 기반 상호작용이 수학적 표현의 장단점을 점검할 수 있는 기회를 제공할 수는 있지만, 메타인지적 상호작용으로 연결되지 못한다면 주어진 과제 해결에 미치는 효과를 반감시킬 수 있음을 보여준다. 이는 성지현, 이종희(2017b)의 연구 결과와도 일치한다.

3조의 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에서 관찰된 상호작용 유형과 그에 따른 창의적 시너지는 <표 Ⅴ-7>과 같다.

<표 Ⅴ-7> 3조의 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에서 관찰된 집단 창의성

상호작용 유형	창의적 시너지
상호보완적	- 집단 유창성 : 다양한 수학적 표현 방법 공유
갈등 기반	- 집단 정교성 : 제시된 표현(장단점 등의 특징)의 이해

2.2.3. 논의

지금까지 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에서 관찰된 다양한 형태의 집단 창의성 발현사례를 살펴보았다. 수학적 주제에 대한 논의보다 현실 상황에 대한 논의가 주로 이루어진 실세계 탐구 및 문제에 영향 미치는 요인 찾기와는 달리(Palsdottiir & Sriraman, 2017), 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에서는 수학적 주제에 대한 논의가 이루어졌다. 구체적으로, 두 조의 사례에서 집단 내 표현의 다양성이 증가하고 각 표현의 의미를 확인함으로써 정보를 분류, 정리하는 방법이 변화함을 확인할 수 있었다. 학생들은 기존에 학습한 수학적 표현을 그대로 활용하거나 의미를 변형하여 활용하였다. 나아가, 논의의 초점이 과자를 표현하는 방법으로부터 수학적 표현의 의미와 필요성으로 전환됨을 확인할 수 있었다. 이는 수학적으로 다양하게 표현하기 활동을 통해 학생들이 수학적 지식을 활용하여 문제를 새롭게 바라볼 수 있다고 한 정혜윤 외(2018, p. 155)의 주장과도 일치한다.

두 사례 모두 상호작용 과정에서 수학적 표현의 다양성과 표현의 장단점에 대한 사고가 확장되는 창의적 시너지인 집단 유창성이 관찰되었다. 다만, <표 Ⅴ-6>과 <표 Ⅴ-7>에서 확인할 수 있듯이, 상호보완적, 갈등 기반 상호작용만 동시에 발생한 경우보다 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 모두 동시에 발생한 경우 창의적 시너지가 더욱 확장적으로 나타날 수 있으며, 궁극적으로 주어진 실세계 상황에 더 적절한 표현을 선택하는 방향으로 수학적 모델링 활동을 지원할 수 있음을 확인할

수 있었다. 이와 같은 분석 결과는 집단 구성원 간의 사고 불일치로 갈등이 발생할 수 있지만, 갈등이 발생한 경우 집단 구성원 간의 논의를 통해 사고 선택과 변형으로 이어지는 메타인지적 상호작용이 나타날 때 집단 정교성이 발생하는 등 집단 수준의 지식 확장이 이루어진다고 주장한 성지현, 이종희(2017b, p. 517)의 연구결과와 일치한다.

더불어, 집단 내 발생하는 갈등의 유형에 따라 갈등 관리 및 해결 가능성이 달라질 수 있다는 선행연구(조무정, 진석언, 2016; Jehn, 1997, Kurtzberg & Amabile, 2000-2001)의 연구결과와도 일치한다. Kurtzberg & Amabile(2000-2001, pp. 290-291)는 집단 창의성 발현과정에서 나타나는 갈등의 종류를 과제 기반 갈등(task-based conflict), 관계 기반 갈등(relationship-based conflict), 과정 기반 갈등(process-based conflict)으로 나누어 제시한 바 있다. 이때, 과제 기반 갈등이란 과제 해결 과정 자체에 대한 갈등을, 관계 기반 갈등이란 활동과 상관없이 집단 구성원 사이에서 발생하는 갈등을, 과정 기반 갈등이란 구성원의 역할과 책임 분담에 대한 갈등을 의미한다(Jehn, 1997). 말하자면, 과제 기반 갈등이 과제 해결 자체에 초점을 둔다면, 관계 기반 갈등과 과정 기반 갈등을 해결 과제 해결 과정에서 나타나는 구성원 간의 심리에 초점을 둔다. 이를 토대로 위의 사례를 살펴보면, 5조의 경우 수학적 근거를 토대로 갈등 기반 상호작용을 이끌어가고 있으며 이는 과제 기반 갈등으로 볼 수 있다. 하지만 3조의 경우 갈등유발자라는 역할분담에 따라 논점을 벗어난 갈등을 유발하고 있는바, 이는 과정 기반 갈등이라고 볼 수 있다. 과정 기반 갈등이 과제 기반 갈등으로 연결되지 못함으로써 갈등에 대한 평가, 즉 메타인지적 상호작용으로 연결되지 못한 것이다. 이와 같은 연구결과는 갈등의 유형 중 과제 기반 갈등이 집단 창의성 발현에 긍정적인 영향을 미칠 수 있으며, 그 외의 갈등이 발생하는 경우 오히려 부정적인 영향이 나타날 수 있다는 선행연구(조무정, 진석언, 2016; Jehn, 1997; Kurtzberg & Amabile, 2000-2001)의 주장과도 일맥상통한다.

나아가, <표 Ⅴ-6>과 <표 Ⅴ-7>의 결과는 집단 구성원 간의 상호작용이 다양한 모습으로 나타날 수 있으며, 상호작용의 모습에 따라 그 결

과 역시 서로 다르게 형성될 수 있음을 보여준다(Woodman et al., 1993, p. 304). 두 조의 사례로부터 서로 다른 형태의 상호작용이 발생한 원인을 다음의 두 가지 측면에서 분석할 수 있다.

첫째, 모둠 구성원들에게 부여된 역할분담, 특히 사고종합자의 역할 수행에 있어서 차이가 있었다. 5조의 경우 자신에게 주어진 역할을 충실히 수행하는 모습을 보였다. S51과 S54는 갈등유발자 역할에 충실하면서 서로 다른 수학적 표현의 장점을 제시하였다. 그리고 사고종합자인 S52는 두 표현의 차이점에 대한 질문을 통해 주어진 상황에 가장 적절한 표현에 대해 검토 및 평가하는 기회를 제공하였다. [그림 Ⅴ-13]에서 확인할 수 있듯이, S52의 발언을 중심으로 상호작용이 이루어진 것이다. 반면, 3조의 경우 갈등유발자인 S31과 S34를 중심으로 상호작용이 이루어졌으며, 사고종합자인 S32는 주어진 상황에 적절한 표현을 검토하지 못하였다. 특히, S32는 S31이 언급한 논의의 초점을 인지하지 못하고 S34의 주장에 동조하는 모습을 보임으로써 집단 내 메타인지적 상호작용 발생의 기회를 마련하지 못하였다.

둘째, 집단 내 자유로운 토론 환경에 차이가 있었다. 5조의 경우 사고를 공유하는 데 편안하고 개방적인 분위기에서 상호작용이 이루어졌다. 반면, 3조의 경우 상대방의 의견에 동조하거나 비판적으로 검토하기보다 자신의 주장을 관철하려는 분위기에서 상호작용이 이루어졌다. 3조의 상호작용 과정에서 “난 이게 편해”, “난 이게 더 편해”라는 발언이 종종 관찰되었는데, 이는 공유된 지식에 대한 비판적 검토보다 자신의 주장을 내세우는 방향으로 상호작용이 진행되었음을 보여준다. 3조와 5조의 사례는 성공적인 상호작용을 위해 사고를 공유하는 데 편안하고 개방적인 분위기가 요구된다는 조무정, 진석언(2016), Paulus & Yang(2000), Sawyer(2012) 등의 선행연구를 뒷받침한다. 나아가, 편안하고 개방적인 분위기 조성을 위해 교사의 역할이나 브레인스토밍, 브레인 라이팅과 같은 제도의 설계뿐 아니라 학생들 스스로 사고에 개방적인 태도를 갖게 하는 것이 필요함을 알 수 있다. 김상화, 방정숙(2010)이 언급한 바 있듯이, 사고에 개방적인 태도는 일시적으로 형성될 수 없으므로, 학교수학에

서 수학적 의사소통에 대한 꾸준한 지도가 필요하다.

2.3. 요소 사이 관계 찾기 및 단순화하기 단계

3번 문항을 통해 학생들은 문제에 영향 미치는 요인으로 다섯 가지를 선정[31]하고, 이들을 다양한 수학적 표현을 이용하여 나타내었다. 그 뒤, 4번 문항 해결 과정에서, 학생들은 위의 5개 요인 중 과자 선정에 가장 중요한 요인 3가지를 선정하였다. 이는 과제 해결 시 실세계의 모든 측면을 고려할 수 없으므로 문제에 영향 미치는 요인을 단순화하는 작업이 필요한 데서 나온 활동이다. 단순화 과정에서 주요 요인 선정을 위한 기준이 다양하게 논의되었으며, 기준 수립 과정과 수립된 기준에 따른 주요 요인 선정 과정에서 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 나타났다. 다만, 앞의 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에서 모둠별로 상호작용이 다르게 나타났듯이, 단순화하기 단계에서도 모둠별로 서로 다른 형태의 상호작용이 관찰되었다. 특히, 이들 상호작용 유형은 단순화의 기준이 되는 근거(실세계 경험, 수학적 표현의 의미, 과제 맥락)에 따라 다르게 나타났는데, 아래에서는 각 모둠별로 단순화의 기준에 따라 대표 사례를 구별하여 제시하고자 한다.

4번 문항을 해결하기 전에, 교사는 다음과 같은 학급 전체 발문을 통해 4번 문항에서 요구하는 활동을 안내하였다. 특히, 3번 문항과 연계된 활동임을 강조하면서, 문항 해결의 구체적인 예를 제시하고 집단 내 상호작용을 유도하였다.

T1[32] : (중략) 너희가 예를 들어서 지금 (3번에서) 다섯 가지 정보를 썼

---

31) 문제에 영향을 미치는 다섯 가지 요인의 선정 결과는 모둠 별로 다르게 나타났다. 예를 들어, 2조는 탄수화물, 칼로리, 콜레스테롤, 지방, 가성비를 제시하였으며, 5조는 칼로리, 가격, 지방, 나트륨, 당류를 제시하였다.

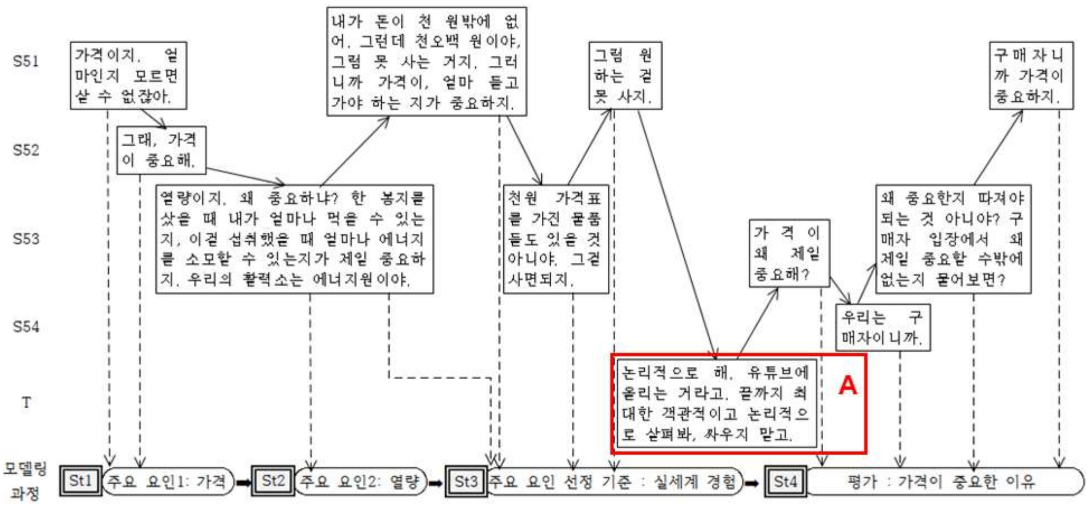
32) T1, T2,…는 모두 연구 참여 교사 T의 발언이다. 이후의 논의에서 각 발문을 구별하여 효과 등을 논의하기 위해 본문에 제시된 발언의 순서대로 숫자를 부여하였다. 이때 본문에 제시된 발언의 순서가 실제 발언의 순서를 의미하지는

지. 그럼 너희 다섯 가지 중에서도 중요하다고 생각한 것이 있을 거 아니야. 제일 중요한 거, 예를 들어, 나는 당이, 탄수화물이, 지방이 중요해. 이럴 수도 있어. 그 가장 중요하다고 생각하는 거 세 개를 고르는 거야. 나는 제일 중요한 게 나트륨의 양이다. 왜냐하면, 나트륨은 몸에 유해하기 때문이라고 생각할 수도 있고. 그래서 가장 중요하다고 생각하는 세 개를 정하고, 그 세 개를 정한 이유가 있을 거 아니야. (중략) 그거를 너희가 애기해 보면서 4번 아래 칸을 한 번 채워봅시다.

2.3.1. 실세계 경험, 수학적 표현의 의미, 과제 맥락을 고려한 기준 수립 사례

5조는 실세계 경험, 수학적 표현의 의미, 과제 맥락을 고려하여 주요 요인 선정 기준을 수립하였다. 아래에서는 각 기준에 따라 주요 요인을 선정하는 과정에서 관찰된 5조의 상호작용과 창의적 시너지를 살펴본다.

2.3.1.1. 실세계 경험을 고려한 기준 수립 과정에서 관찰된 상호작용 사례



[그림 Ⅴ-17] 5조의 실세계 경험을 고려한 단순화 과정에서 관찰된 상호작용 사례

않는다.

[그림 V-17]은 5조가 단순화하기를 수행하는 초기 과정을 보여준다. 4번 문항에 대한 논의가 시작되자, 학생들은 과자 선정을 위한 기준을 수립하려고 했으며 기준 수립의 근거로 가장 먼저 각자의 실생활 경험을 제시하였다. 말하자면, [그림 V-17]은 실세계 경험을 고려하여 과자 선정의 기준을 수립하는 과정을 보여준다. 화살표의 진행 방향에 따라 살펴보면, S51이 가격을 우선적으로 고려해야 함을 주장하자 S52가 이에 동의하면서 가격의 중요성을 인정하였다(St1). 하지만 S53이 이에 반대하면서 열량이 가장 중요함을 주장하였다(St2). 이때, S31과 S33의 주장은 각자의 실세계 경험을 고려한 것이다(St3). S31과 S33의 의견 불일치가 발생하는 원인에 대한 검토와 평가가 이루어지지 않는 상황에서 갈등이 지속되자, 해당 집단 구성원들에게 교사가 주장의 논리성과 객관성을 강조하면서 메타인지적 상호작용을 유도하는 발문을 하였다([그림 V-17]의 A 참고). 경험의 주관성에 치우친 주장이 아닌 객관적인 이유에 근거한 평가가 이루어져야 함을 강조한 것이다. 교사의 발문 이후 S53이 가격의 중요성을 묻는 등 기준의 적절성을 평가하고자 하였으나, 메타인지적 상호작용으로 이어지지 못한 채 결과적으로 갈등 기반 상호작용에 그치게 되었다(St4).

[그림 V-17]에 나타난 갈등 기반 상호작용은 가격과 열량이라는 서로 다른 요인이 제시되면서 단순화를 위한 다양한 관점이 집단 내 공유되는 집단 유창성의 발현으로 이어졌다. 하지만 이후 구매자 입장에서 가격이 제일 중요한 이유가 타당하게 제시되지 않자 가격과 열량 중 더 적절한 기준 수립에 대한 의견이 합의되지 못하는 모습이 관찰되었다. 새로운 관점이 증가하긴 하였으나 이들을 종합하여 결과물의 완성도를 높이는 등의 집단 정교성 향상으로 이어지지 못한 것이다. 즉, 단순화를 위한 주요 요소 선정 기준이 타당성 있게 수립되지 못하자, 주요 요소 선정에서도 합의가 이루어지지 못하였다.

결과적으로, 5조가 실세계 경험을 고려하여 단순화하기 수행 과정에서 관찰된 상호작용 유형과 그에 따른 창의적 시너지는 <표 V-8>과 같다.

<표 Ⅴ-8> 5조의 실세계 경험을 고려한 단순화 과정에서 관찰된 집단 창의성

상호작용 유형	창의적 시너지
갈등 기반	- 집단 유창성 : 주요 요인의 수 증가

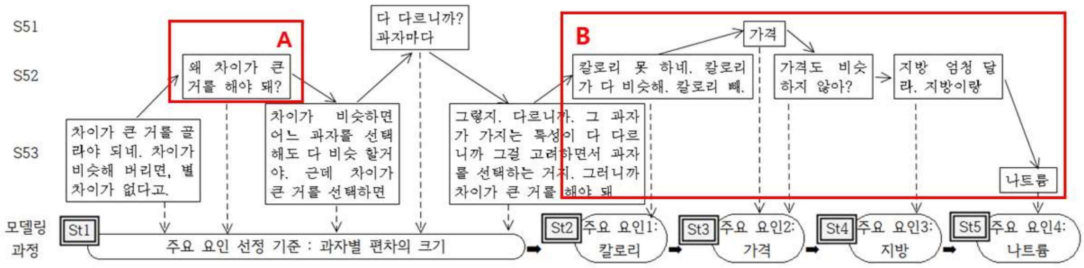
2.3.1.2. 수학적 표현의 의미를 고려한 기준 수립 과정에서 관찰된 상호작용 사례

실세계 경험에 토대를 둔 논의가 지속되면서 3번 문항에서 살펴본 수학적 표현이 갖는 의미에 대한 고려가 이루어지지 못하였다. 이에, 교사는 5조에 다음과 같이 발문함으로써 3번 문항의 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에서 수행한 활동이 고려되어야 함을 상기시켰다. 실세계 경험뿐 아니라, 수학적 의미가 반영되어야 함을 안내한 것이다.

T2 : (3번 문항 활동지를 가리키며) 막대그래프 격차가 좀 어떤 것 같아?
S51: 다 달라요.
T3 : 그렇지, 다 다르지. 상식적으로 과자가 이렇게 네 개가 있는데, 네 개 뭘 먹든 다 똑같아. 그런데 이걸 우선순위로 선정할 필요가 있을까?
S53 : 아니요.

위의 발문 이후 모둠 내 상호작용은 아래의 [그림 Ⅴ-18]과 같이 진행되었다. [그림 Ⅴ-18]의 화살표 진행 방향에 따라 살펴보면, S53이 과자에 따라 차이가 큰 요인을 과자 선정의 기준으로 수립해야 함을 언급하였다. S53의 의견에 대해 S52가 그 이유를 묻자([그림 Ⅴ-18]의 A 참고), S53과 S51이 서로 보완적으로 이유를 설명하면서 과자별 편차의 크기가 주요 요인 선정 기준으로 수립되어야 함을 강조하였다(St1). 이후 S52는 S51과 S53의 설명을 듣고 이해하는 모습을 보이며, 편차가 작은 칼로리(열량)와 가격은 주요 요인으로 선정하기 어렵고 편차가 큰 지방

이 주요 요인으로 선정되어야 한다는 의견을 적극적으로 제시하였다(St2, St3, St4). S52에 이어 S53도 나트륨을 추가로 제시하였다(St5).



[그림 Ⅴ-18] 5조의 수학적 표현의 의미를 고려한 단순화 과정에서 관찰된 상호작용 사례

[그림 Ⅴ-18]을 살펴보면, A에 나타난 S52의 질문에 답하는 과정에서 집단 구성원들이 주요 요인 선정기준을 함께 검토할 수 있었다. 메타인지적 상호작용이 나타난 것인데, 이는 과자별 편차가 작은 정보를 주요 요인 선정 기준으로 수립해야 한다는 내용에 대한 이해를 증가시키는 집단 정교성의 발현으로 이어졌다. 이후 집단 구성원들은 설정된 기준에 따라 3번 문항에 답한 칼로리, 가격, 지방, 나트륨, 당류의 다섯 가지 요인을 함께 검토하였다([그림 Ⅴ-18]의 B 참고). 그 과정에서 S51이 가격을 언급하자 S52가 '(과자별 차이가) 비슷하다'라는 의견을 제시하면서 가격이 적절하지 않음을 주장하였고, S51은 S52의 의견을 받아들였다. 이는 [그림 Ⅴ-17]의 갈등 기반 상호작용과 대조되는 모습으로, 주요 요인 선정기준이 수학적으로 명확한 근거를 갖는 경우 수립된 기준을 토대로 사고가 보완적으로 공유될 수 있음을 보여준다. 구성원들의 메타인지적 상호작용은 궁극적으로 주요 요인 선정기준의 타당성을 검토하고, 동시에 선정된 주요 요인의 타당성을 검토하게 하였다. 즉, 결과물로서 선정된 주요 요인의 완성도를 높이고 오류 가능성을 줄이는 집단 정교성 발현으로 이어졌다.

결과적으로, 5조가 수학적 표현의 의미를 고려하여 단순화하기를 수행하는 과정에서 관찰된 상호작용 유형과 그에 따른 창의적 시너지는 <표

Ⅴ-9>와 같다.

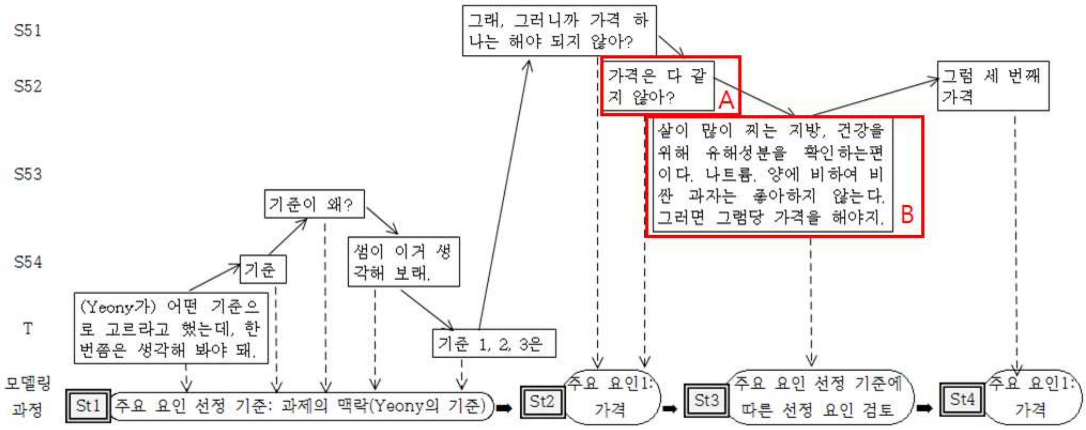
<표 Ⅴ-9> 5조의 수학적 표현의 의미를 고려한 단순화 과정에서 관찰된 집단 창의성

상호작용 유형	창의적 시너지
메타인지적	- 집단 정교성 : 내용에 대한 이해력(과자 간 편차의 중요성) 증가 : 결과물(선정된 주요 요인)의 완성도 증가와 오류 가능성 감소

2.3.1.3. 과제 맥락을 고려한 기준 수립 과정에서 관찰된 상호작용 사례

수학적 표현의 의미를 고려한 주요 요인 선정이 이루어지면서, 5조에서는 과자별 함유량의 차이가 큰 나트륨과 지방, 당류를 주요 요인으로 선정하고자 하였다. 이때, 학생들이 수학적 표현의 의미에 몰입하면서 과제에서 Yeony가 제시한 기준을 고려하지 않자, 교사는 Yeony가 제시한 기준도 검토할 것을 제안하였다. 해당 집단에 대한 교사의 발문은 학생들에게 과제 맥락을 살펴보는 계기를 제공하였다. 교사의 발문 이후 집단 내 상호작용은 [그림 Ⅴ-19]와 같이 나타났다.

[그림 Ⅴ-19]의 화살표 진행 방향에 따라 살펴보면, 교사의 발문에 S54가 반응하며 기준에 대한 고려가 있어야 함을 제안하였다(St1). 교사가 다시 기준 세 가지를 언급하려고 하자, 교사의 발문을 이해한 S51이 Yeony가 제시한 기준을 고려해야 함을 인지하고, 주요 요인으로 가격을 추가할 것을 제안하였다(St2). S51의 제안에 대해 S52가 가격의 경우 과자별 차이가 크지 않음을 언급하며 기준으로 부적절하다는 평가를 하자(St2), S53이 Yeony의 기준에 대응하는 주요 요소를 하나씩 검토하면서 가격의 필요성을 주장하였다(St3). S52는 S53의 검토가 적절하다고 판단하여 가격을 주요 요인으로 인정하고, 최종적으로 그램당 가격이 주요 요인에 포함되었다(St4).



[그림 Ⅴ-19] 5조의 과제 맥락을 고려한 단순화 과정에서 관찰된 상호작용 사례

[그림 Ⅴ-19]를 살펴보면, 교사의 발문을 함께 검토하는 과정에서 단순화를 위해 과제 맥락이라는 새로운 기준을 검토할 수 있었다. 앞서 수학적 표현의 의미를 고려한 경우, 가격은 과자별 차이가 크지 않아서 주요 요인으로 선정되지 않았다([그림 Ⅴ-18]의 St3 참고). [그림 Ⅴ-19]의 A에서 S52가 가격은 다 같다고 한 발언 역시 수학적 표현의 의미를 고려한 결과이다. 하지만 과제 맥락을 고려하자, Yeony가 제시한 기준을 충족시키기 위해 가격이 포함되게 되었다. 이는 실세계 경험, 과제 맥락 등 주요 요인 선정을 위해 수립된 기준에 따라 단순화 결과가 다르게 나타날 수 있음을 보여준다. 즉, 5조의 상호작용 사례는 실세계 경험, 수학적 표현의 의미에 이어 과제의 맥락이라는 새로운 관점이 추가되었을 때 '가격'이라는 요소를 바라보는 관점이 변화하는 집단 유창성과 집단 융통성이 발생하였으며, 궁극적으로 다양한 요인을 고려하여 단순화가 진행되었을 때 단순화 결과물의 완성도가 향상되는 집단 정교성이 발생함을 보여준다. 결과적으로, 수학적 표현의 의미와 과제 맥락을 결합한 기준이 수립되고 이에 따른 주요 요인이 선정되었다([그림 Ⅴ-19]의 B 참고).

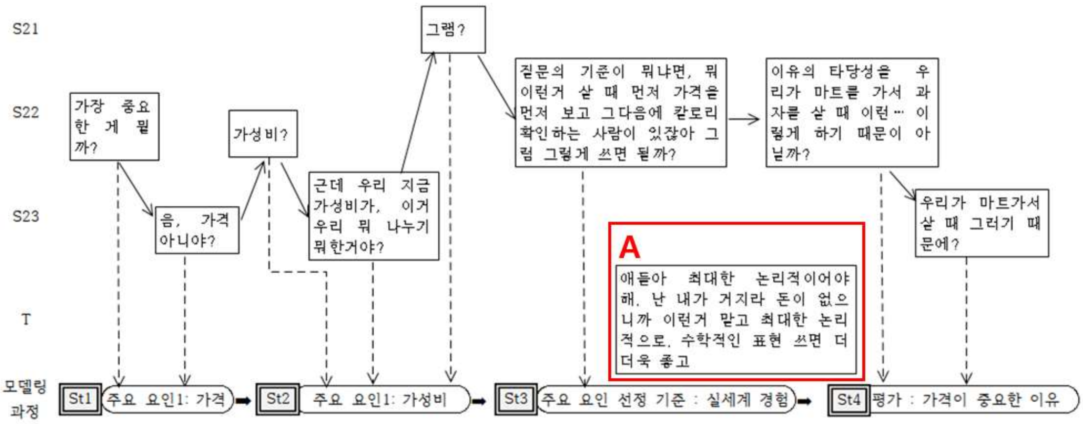
5조가 과제의 맥락을 고려하여 단순화하기를 수행하는 과정에서 관찰된 상호작용 유형과 그에 따른 창의적 시너지는 <표 Ⅴ-10>과 같다.

<표 Ⅴ-10> 5조의 과제 맥락을 고려한 단순화 과정에서 관찰된 집단 창의성

상호작용 유형	창의적 시너지
메타인지적	- 집단 유창성과 집단 융통성 : 내용('가격' 요인)을 바라보는 관점의 변화(증가) - 집단 정교성 : 단순화하기 결과물의 완성도 증가

2.3.2. 실세계 경험을 고려한 기준 수립 사례

여기에서는 실세계 경험을 고려하여 주요 요인 선정 기준을 수립한 2조의 사례를 살펴본다. 2조의 사례는 5조가 단순화하기 초기 단계에 실세계 경험만 고려한 것과 유사하나, 5조가 이후 수학적 표현 및 과제 맥락을 고려한 것과는 다르게 실세계 경험만을 고려하였다.



[그림 Ⅴ-20] 단순화하기 단계에서 관찰된 2조의 상호작용 사례

위의 [그림 Ⅴ-20]의 연결된 화살표의 진행 방향에 따라 살펴보면, S22가 가장 중요하게 고려해야 할 요인이 무엇인지에 대해 질문하자, S23이 가격이 가장 중요하다고 답하였다(St1). S23의 의견에 대해, S22

가 동의하면서 가성비를 의미하는 거냐고 좀 더 구체적으로 질문하였다(St2). S22의 질문에 S23이 가성비의 정확한 의미를 다시 질문하자, S21이 가격을 그램으로 나눈 값을 의미함을 알려주었다(St2). 결과적으로, 2조에서는 가성비를 가장 중요하게 고려해야 할 첫 번째 요인으로 선정하였으며, 두 번째로 칼로리, 세 번째로 지방을 선정하였다. 이후 계속해서 4번 문항을 해결하는 과정에서, 중요도 선정의 기준(이유)를 논의하게 되었다.[33] 중요도 선정의 이유로 S22가 '사람들이 가격을 먼저 보고 그 다음으로 칼로리를 보기 때문'이라는 실세계 경험에 근거한 이유를 제시하였다(St3). 이어서, 중요도 선정 이유의 타당도를 검토하라는 문항에 대해 S22가 마트에 가서 살 때 중요도 선정의 이유에서 제시한 순서대로 물건을 구입하기 때문이라는 이유를 제시하였으며, S23 역시 본인들도 제시한 순서대로 물건을 구입한다는 의견을 추가하며 S22의 의견을 보충하였다(St4).

[그림 Ⅴ-20]에 나타난 2조의 상호작용에서는 반대 의견과 비판적 검토가 이루어지지 않았으며, 구성원의 의견에 긍정적으로 반응하면서 본인의 의견을 추가하는 방식의 상호보완적 상호작용이 나타났다. 이러한 모습은 5조에서 실세계 경험에 대한 의견의 불일치로 갈등 기반 상호작용이 나타난 것([그림 Ⅴ-18] 참고)과 대조된다. 2조의 상호작용 사례는 실세계 경험에 대한 의견이 일치할 경우, 다양한 관점에 대한 고려 없는 상호보완적 상호작용이 나타나고 창의적 시너지 역시 집단 내 주요 요인의 가짓수가 단순히 증가하는 집단 유창성에 머물게 됨을 보여준다.

[그림 Ⅴ-20]의 A에 제시되었듯이, 교사는 학생들이 3번 문항에서 제시한 수학적 표현이나 과제 맥락에 관계없이 실세계 경험에 근거하여 문제를 해결하자 수학적 표현을 고려할 것을 강조하였다. 하지만 2조의 구성원들은 이에 대해 반응하지 않았으며, 본인들의 경험에 근거한 단순화하기를 수행하였다. 이후 요인 선정의 기준과 기준에 대한 타당성을 검토하는 과정에서도 실세계 경험에 근거한다는 점을 계속 강조하였으며,

33) 4번 문항이 제시된 [그림 Ⅴ-8]을 살펴보면 중요도 선정의 기준(이유)과 기준(이유)의 타당도에 대해 논의할 것을 요구하고 있다.

집단 내 다양한 관점이 공유되거나 확장되지 못하였다. 실세계 경험을 고려할 때 갈등 기반 상호작용이 나타난 5조의 경우 갈등 해결을 위해 교사의 발문을 참고한 것과 달리, 2조는 의견 일치가 이루어진 이후 교사의 발문을 더 이상 고려하지 않게 된 것이다.

2조가 실세계 경험을 고려하여 단순화하기를 수행하는 과정에서 관찰된 상호작용 유형과 창의적 시너지는 <표 V-11>과 같다.

<표 V-11> 1조의 실세계 경험을 고려한 단순화 과정에서 관찰된 집단 창의성

상호작용 유형	창의적 시너지
상호보완적	- 집단 유창성 : 주요 요인 선정

2.3.3. 논의

주요 요인을 선정하는 단순화하기 단계에서 실세계 경험, 수학적 표현의 의미, 과제 맥락 등의 다양한 기준이 순환, 반복적으로 논의되었다. 처음에는 실세계 경험, 수학적 표현의 의미 등 단일한 기준을 적용하여 주요 요인을 선정하였다. 특히, 실세계 경험에 기반을 둔 비수학적 주장이 제일 먼저 사용되었다. 자신의 실세계 경험에 근거한 주장의 우선적인 논의는 Doerr & English(2003)에 소개된 모델링 다중해석주기의 첫 번째 주기의 특징과 일치한다. 또한, 학생들의 실제 경험에 의해 과제 맥락이 서로 다르게 재구성된다는 Barbosa(2006)의 연구결과와도 일치한다. 다만, 이후 구성원들은 수학적 표현의 의미와 과제 맥락이 혼합된 기준을 적용하여 주요 요인을 최종적으로 선정하기도 하였으며, 실세계 경험에 머물기도 하는 등 집단별로 다양한 모습을 보였다.

<표 V-8>에서 확인할 수 있듯이, 실세계 경험에 기반을 둔 기준 수립 시 주관적인 판단의 개입으로 기준 수립의 근거에 대한 타당성이 확보되지 않을 경우, 주장에 대한 타당성 검증 없이 갈등만이 존재하였다. 하지만, <표 V-9>, <표 V-10>에서 확인할 수 있듯이, 이후 수학적 표

현의 의미와 과제 맥락에 근거할 때에는 타당성 있는 평가가 뒷받침됨으로써 메타인지적 상호작용이 이루어졌다. 기준 수립 시 타당한 근거의 존재가 집단 내 의견 불일치에 따른 갈등 기반 상호작용을 메타인지적 상호작용으로 이끌게 되는 것이다.

또한, <표 Ⅴ-11>에서 확인할 수 있듯이, 집단 내 구성원들이 동일한 실세계 경험을 갖는 경우 주장에 대한 타당성 검증이 수학적 맥락에서 이루어지지 못한다면 확장된 창의적 시너지가 발생하지 않는다. 주요 요인의 타당성을 검토하지 못함으로써 주요 요인에 대한 다양한 관점을 확인하지 못하며, 주요 요인이 적절한지 여부에 대해 검토하지 못하게 되는 것이다.

정리하자면, 메타인지적 상호작용으로 진행되지 못한 갈등 기반 상호작용의 경우 집단 창의성 발현이 축소된다. 메타인지를 통한 관점의 전환이 집단 창의성의 핵심이라고 평가한 Glăveanu(2014)의 주장 역시 이를 뒷받침한다. 나아가, 이와 같은 결과는 수학적 모델링이 학생들이 접하는 실생활을 기반으로 진행되는 활동이긴 하나, 그 기저에는 수학적 개념과 주어진 상황에 대한 정확한 이해가 있어야 다양한 유형의 상호작용과 창의적 시너지가 발생하는 등 확장된 집단 창의성이 발현될 수 있음을 보여준다.

이 절에서의 사례로부터 서로 다른 형태의 상호작용이 발생한 원인을 다음의 세 가지 측면에서 분석할 수 있다. 첫째, 학생들의 상호작용을 메타인지적 상호작용으로 이끄는 과정에서 해당 집단에 대한 교사의 개별적인 발문이 중요한 역할을 하였다. 이전 문항과의 연결성을 검토(T2, T3)하거나 과제의 맥락을 검토할 것을 요구([그림 Ⅴ-19]의 교사 발문)하는 발문은 메타인지적 상호작용을 유도함으로써 학생들의 복합적이며 타당성 있는 기준 설정에 도움을 주었다. 즉, 교사의 발문이 집단 창의성 발현을 위한 메타인지적 상호작용을 유도함으로써 학생들의 사고 방향을 전환하는 데 중요한 역할을 할 수 있음을 보여준다. 다만, [그림 Ⅴ-17]과 [그림 Ⅴ-20]에 제시된 교사의 발문은 상호작용을 이끌어내는 데 실패하였다. 실패한 발문은 모두 “논리적으로 하라”는 발문이었는데, 이는

상호작용을 이끌어내기 위해서는 좀 더 구체적인 형태의 발문이 필요함을 보여준다.

둘째, 집단 내 상호작용이 메타인지적 상호작용으로 이어진 데에는 사고종합자의 역할 수행도 기여하였다. 5조의 사례를 보여주는 [그림 V-17]의 경우 갈등유발자인 S51과 S53의 불일치하는 의견에 대해 S52가 사고종합자로서 역할하지 못하였는데, 이로 인해 결과적으로 집단 내 상호작용은 갈등 기반 상호작용에 머물렀다. 반면, [그림 V-18]의 A와 [그림 V-19]의 A에서는 사고를 평가, 검토하는 사고종합자 역할을 하였으며, 결과적으로 5조의 집단 내 상호작용은 메타인지적 상호작용으로 이어지게 되었다. 이는 다른 관점을 지닌 갈등유발자가 추가적인 사고를 자극할 수는 있지만(Nijstad & Paulus, 2003), 다양한 관점을 활용하기 위해서는 사고를 비판적으로 평가하는 사고종합자의 역할이 필수적임(Paulus & Brown, 2003)을 보여준다.

셋째, 확장적인 창의적 시너지 발생을 위해서는 갈등유발자의 역할 역시 중요하다. 2조와 5조 모두 실세계 경험에 기반을 둔 기준 수립이 이루어졌다. 하지만 갈등 기반 상호작용이 발생한 5조와 달리, 2조에서는 상호보완적 상호작용에 머물게 되었다. 이러한 상호작용은 동일한 집단 유창성일지라도 수학적 모델링 활동의 지원에 차이를 가져왔다. 5조의 경우 주요 요인을 공유하는데 머물면서 논의의 계기를 제공하였으나, 2조의 경우 주요 요인 선정에 이르면서 논의의 계기가 사라진 것이다. 상호작용 유형뿐 아니라 그에 따른 창의적 시너지 발생의 차이는 갈등유발자의 역할 수행과 연결된다. [그림 V-20]에서 확인할 수 있듯이, 2조의 경우 S21과 S23이 갈등유발자임에도 사고제시자인 S22의 의견에 반박하지 않고 긍정적으로 받아들이고 의견을 보충하는 모습을 보였다. 5조의 집단 내 상호작용이 갈등 기반 상호작용으로 연결되지 못한 것이다.

결과적으로, 각 모둠의 학생들은 수립된 기준에 따라 주요 요인을 선정하였다. 선정 결과는 모둠별로 서로 다르게 나타났는데, 위에서 살펴본 5조의 경우 주요 요인으로 나트륨, 지방, g당 가격을, 2조의 경우 주요 요인으로 가성비, 칼로리, 지방을 선정하였다. 5번 문항에서는 4번 문항

에서 주요 요인으로 선정한 3가지 요인 각각에 대해 과자들의 순위를 제시할 것을 요구하였다. 이때, 요인에 따라 과자들의 랭킹도 달라짐을 확인할 수 있었다. 예를 들어, I 과자의 경우 '나트륨' 요인에서는 2위, '지방' 요인에서는 4위, 'g당 가격' 요인에서는 1위를 하였다. 고려 요인에 따라 과자의 순위가 서로 다르게 나타나자, 최고의 과자 2개를 고르기 위해 서로 다른 순위를 종합할 수 있는 모델이 필요하게 되었다.

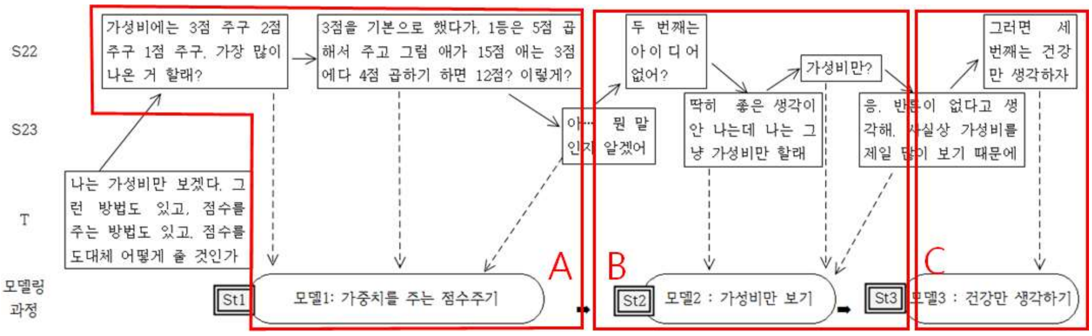
2.4. 수학적 모델, 결과 도출 및 적용 단계

학생들은 3번 문항의 해결 과정에서 그래프와 표 등을 이용하여 수집한 과자의 정보를 표현한 뒤, 4번 문항에서 최고의 과자 선정에 필요한 정보 세 가지(예를 들어, 과자별 가성비, 열량, 포화지방 등)를 선정하고, 5번 문항에서 각 정보에 대한 과자별 순위(예를 들어, 가성비를 따를 경우, I, C, H, P, B 순)를 확인하였다. 이후 6번 문항에서는 평균과 최빈값 등의 수학적 모델을 통해 5번 문항에서 수집한 각 정보에 대한 과자별 순위를 종합하여 Yeony에게 추천하는 과자를 선택하였다. 6번 문항을 해결하는 과정에서는 집단에 따라 상호보완적 상호작용만 나타난 사례와 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 함께 나타난 사례가 관찰되었다. 아래에서는 각각의 대표 사례를 분석한 뒤, 다른 형태의 상호작용이 나타난 원인을 논의하고자 한다.

2.4.1. 상호보완적 상호작용의 발생 사례

[그림 Ⅴ-21]은 2조가 최고의 과자를 선정하기 위해 과자의 정보를 종합할 수 있는 다양한 수학적 모델을 수합하는 과정을 보여준다. [그림 Ⅴ-21]의 연결된 화살표의 진행 방향에 따라 살펴보면, 교사는 발문을 통해 '가성비만 보기'와 '(다양한 방식의) 점수주기'를 예로 제시하면서 모둠 내 수학적 모델 수합을 유도하였다. 교사의 발문에 이어, A에서 S22가 '가중치를 부여하는 점수주기' 모델을 제안하자, S23은 모델을 이

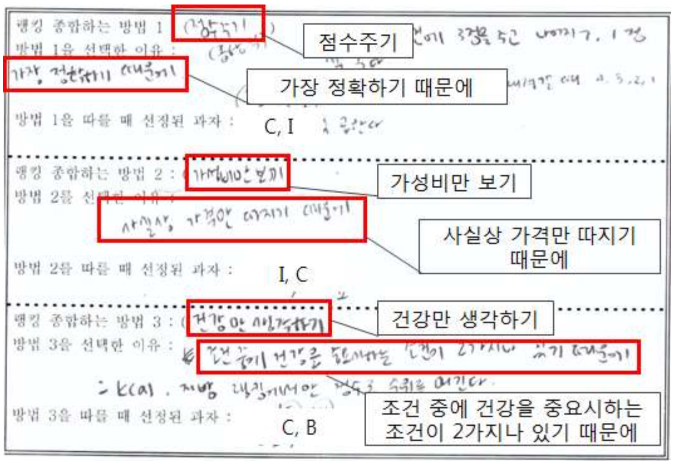
해하며 받아들이는 모습을 보였다. 이어진 B와 C에서 각각 가성비만 보기와 건강만 보기 모델이 제시되었다. 제시된 모델에 대한 반대 의견이나 평가는 없었으며, 집단 내 세 가지 모델이 누적적으로 공유되었다. 즉, 집단 내 상호보완적 상호작용만 발생하였다.



[그림 V-21] 수학적 모델 도출 단계에서 관찰된 2조의 상호작용 사례

[그림 V-21]의 과자의 정보를 종합할 수 있는 적절한 수학적 모델을 찾는 과정에서 2조 학생들은 가중치를 주는 점수주기, 가성비만 보기, 건강만 생각하기 등 상호보완적 상호작용을 통해 다양한 모델을 공유하였다.[34] 이후 활동지에 각 모델을 제시하는 이유를 제시하였는데([그림 V-22] 참고), 점수주기의 경우 '가장 정확'하다는 이유를 제시하였다. 그리고 가성비만 보기의 경우 '(본인이 경험한) 실세계에서 과자 구매 시 주로 가격만을 따지기 때문'이며, 건강만 생각하기의 경우 '과제에 제시된 조건 중 건강과 관련된 조건이 2개 있기 때문'이라고 밝혔다.

34) 2조에서 제시한 가중치를 주는 점수주기는 고려 기준 각각에 가중치를 차등 적용한 가중치의 합 모델로, 가성비만 보기는 가성비에 1, 그 외의 정보에 0의 가중치를 부여한 가중치의 합 모델로, 건강만 생각하기는 열량과 지방 등 건강과 관련된 정보에 1, 그 외의 정보에 0의 가중치를 부여한 가중치의 합 모델로 생각할 수 있다.



[그림 Ⅴ-22] 2조의 공유 모델과 모델 선택 이유

제시된 이유는 각각 수학적 개념, 학생의 실세계 경험, 과제의 맥락을 고려한 것으로 볼 수 있다. 2조의 사례는 수학적 개념, 실세계 경험, 과제의 맥락 중 어떤 측면에 주목하느냐에 따라 선택되는 모델이 달라질 수 있음을 보여준다. 고려되는 측면에 따른 모델의 변화는 5조에서도 관찰되었다. 5조의 경우 '과자를 2개 선정'하라는 과제의 맥락에 초점을 둔 경우 상위권(1위 혹은 2위)에 가장 많이 속한 과자를 선정하는 '최빈값' 모델이 제안되었으며, 과자별 정확한 점수 차이 확인이라는 수학적 개념에 초점을 둔 경우 '점수의 평균값' 모델이 제안되었다. 이와 같은 모델 선택의 초점에 따른 결과의 변화는 학생들의 과제접근방식, 해석방식 및 모델 개선 방향의 다양성을 보여준다(Doerr & English, 2003).

한편, [그림 Ⅴ-21]에서 알 수 있듯이, 2조의 공유된 수학적 모델은 교사가 도움을 주기 위해 제공한 발문에 제시된 모델이다. 2조는 교사가 제시한 정보를 수용할 뿐 비판적으로 검토하는 모습을 보이지 않았다. 교사는 해당 발문을 통해 가능한 모델의 예를 제공한 뒤 상호작용을 유도하는 발문을 추가하지 않았다. 이는 구성원의 역할 수행과 연결되어, 갈등유발자인 S21, S23과 사고종합자인 S24는 제시된 의견에 대한 반대 의견을 제시하거나 평가를 하지 않았으며, 모둠 내 상호작용은 상호보완적 상호작용에 머물렀다. 이로 인해, 뒤에서 살펴볼 4조에서와 달리, 2조에서는 여러 모델을 집단 내에서 누적적으로 공유하는 집단 유창성만 나

타났을 뿐 각 수학적 모델의 장단점과 동질성 등 특징에 대한 논의, 즉 집단 정교성은 발생하지 않았다.

2조의 수학적 모델 도출 단계에서 관찰된 상호작용 유형, 창의적 시너지는 <표 Ⅴ-12>와 같다.

<표 Ⅴ-12> 2조의 수학적 모델 도출 단계에서 관찰된 집단 창의성

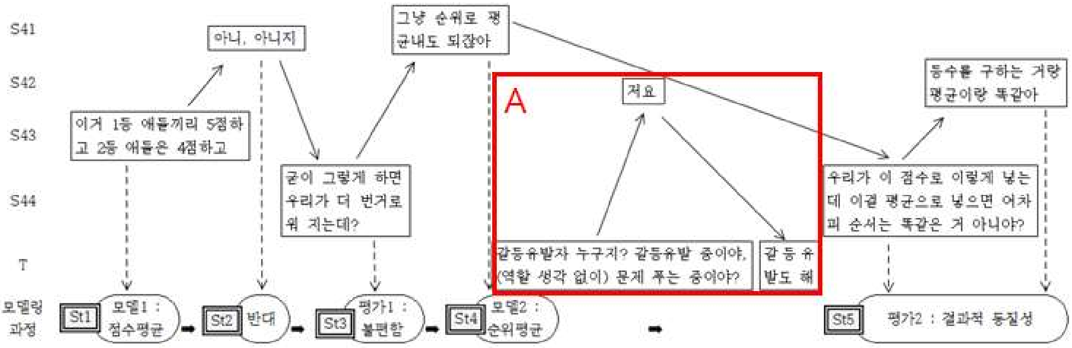
상호작용 유형	창의적 시너지
상호보완적	- 집단 유창성 : 다양한 수학적 모델 공유

2.4.2. 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용의 순환적 발생 사례

상호보완적 상호작용만 발생한 2조와 달리, 4조에서는 상호보완적 상호작용과 함께 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 관찰되었다. 순위 평균과 순위별 점수[35] 평균이라는 두 개의 수학적 모델이 공유됨과 동시에 두 모델의 개념적 동질성 검토와 평가가 이루어진 것이다.

[그림 Ⅴ-23]의 연결된 화살표의 진행 방향에 따라 살펴보면, S43이 먼저 1등부터 5등까지 각각 5점부터 1점까지 점수를 부여한 뒤 평균을 내는 점수 평균 모델을 제안하였다(St1). S43의 의견에 대해 S41이 순위로 평균을 구해도 된다는 반대 의견을 제시하였다(St2, St4). 나아가, S44는 S43과 S41이 제안하는 점수부여의 번거로움을 지적한 뒤(St3), S43과 S41이 각각 제안한 모델의 결과적 동질성을 지적하면서 번거롭지 않은 순위 평균 모델이 더 적절하다고 평가하였다(St5). S42도 동의를 표하였으며, 최종적으로 점수 평균 모델이 아닌 순위 평균 모델을 제안하였다(St5).

35) 순위 평균은 과자별 등수의 합에 대한 평균을 부여하는 수학적 모델을 의미하며, 순위별 점수 평균은 1등부터 5등까지 각각 5점부터 1점을 부여한 뒤 점수의 합에 대한 평균을 부여하는 모델이다.



[그림 Ⅴ-23] 수학적 모델 도출 단계에서 관찰된 4조의 상호작용 사례

4조에서는 상호보완적 상호작용을 통해 각 구성원들이 제시하는 다양한 수학적 모델이 집단 내에 공유되었으며, 이후 이어진 갈등 유발, 메타인지적 상호작용에서 수학적 개념의 동질성에 대한 논의가 이루어졌다. 특히, 메타인지적 상호작용을 통해 모둠 내에 공유된 수학적 개념(점수평균, 순위 평균)의 결과적 동질성을 확인하고 동치인 개념이 제거되는 등 집단 정교성이 발생하였다. 즉, 산술 평균의 개념에 대한 이해가 높아진 것이다. 또한, 이는 상호보완적 상호작용만 발생한 2조와 달리, 메타인지적 상호작용의 발생으로 인해 과제의 실세계 맥락으로부터 독립된 개념 자체에 대한 논의가 이루어진 것으로도 볼 수 있다. 이후 수학적 개념의 동질성으로 인해 평균과 구조적 동질성을 갖지 않는 다른 모델을 추가해야 하는 상황이 발생하였으며[36], 궁극적으로 집단 내 공유되는 수학적 모델의 다양성이 확대되었다. 메타인지적 상호작용이 다시 상호보완적 상호작용으로 연결되면서 집단 유창성이 추가적으로 나타난 것이다. 결과적으로, [그림 Ⅴ-23]에서 제안된 평균 외에 가중치, 최빈값 모델이 추가적으로 수합되었다.

모델 수합 단계에서 4조 학생들은 역할분담에 충실한 모습을 보였다. S43의 의견에 반대 의견을 제시한 S41과 제시된 모델을 평가한 S44의 역할은 각각 갈등유발과 사고종합에 해당하는 것으로, 이는 각각 S41과 S44가 맡은 갈등유발자, 사고종합자 역할과 일치한다. 이들의 충실한 역할이 갈등 기반, 메타인지적 상호작용을 이끌었다고 볼 수 있다.

---

36) 6번 문항에서는 수학적 모델 3개를 요구하였다.

또한, [그림 Ⅴ-23]의 A에서는 교사 발문을 확인할 수 있다. 교사는 갈등유발자를 확인하면서, 역할분담 수행을 요구하는 발문을 하였다. 실제로, 4조의 갈등유발자는 S41과 S42였는데, 갈등 유발에 참여한 S41과 달리 S42는 갈등유발자 역할을 수행하지 않고 있었다. 교사의 발문이 S42의 갈등 유발을 이끌어내진 못하였으나, 이후 S42가 상호작용에 참여하는 계기가 되었다.

4조의 수학적 모델 도출 단계에서 관찰된 상호작용 유형과 창의적 시너지는 아래의 <표 Ⅴ-13>과 같다.

<표 Ⅴ-13> 4조의 수학적 모델 도출 단계에서 관찰된 집단 창의성

상호작용 유형	창의적 시너지
상호보완적	- 집단 유창성 : 다양한 수학적 모델 공유
갈등 기반, 메타인지적	- 집단 정교성 : 수학적 모델의 동질성 확인 - 집단 유창성 : 집단 내 공유 모델 확장

4조와 유사한 논의가 5조에서도 이루어졌다. 5조에서도 공유된 여러 모델의 동질성을 검토하고 평가하는 메타인지적 상호작용이 나타난 것이다.[37] 결과적으로, 5조에서도 순위의 합, 점수의 합, 그리고 순위와 점수의 평균이 모두 동일한 결과를 유도한다는 동질성을 확인하였다. 이후, 문항에서 요구하는 3가지 모델을 제시하기 위해, 평균과 합 이외에 최빈값, 가중치 등의 수학적 모델이 추가적으로 공유되었다. 5조의 사례 역시 수학적 모델 도출 단계에서 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 모두 나타날 수 있으며, 그러할 경우 수학적 모델에 대한 이해도가 향상되는 집단 정교성이 발생함으로써 궁극적으로 과제 해결에 가장 적절한 수학적 모델이 도출될 수 있음을 보여준다.

37) 수학적 모델 도출 단계에서 관찰된 5조의 사례에 대한 논의는 정혜윤, 이경화(2019c)에서 자세하게 다루었다.

2.4.3. 논의

지금까지 수학적 모델 도출 단계에서 관찰된 다양한 형태의 집단 창의성 발현사례를 살펴보았다. 다양한 수학적 모델이 집단 내에 공유되는 상호보완적 상호작용을 통해 선택 가능한 수학적 모델의 수가 확장되는 집단 유창성이 나타났다. 그리고 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 나타나는 경우 수학적 모델의 선택 이유를 고찰하는 과정에서 논의의 초점이 '과자의 순위를 종합하는 방법'으로부터 '과자의 순위를 종합하는 방법의 특징'으로 이동함을 확인할 수 있었다. 이는 수학적 모델링 활동이 궁극적으로 수학적 개념과 표현 등에 대한 학습으로 이어진다는 선행연구(Ärlebäck et al., 2013; Lesh & Caylor, 2007)의 주장에 부합하는 결과이기도 하다.

즉, <표 Ⅴ-12>와 <표 Ⅴ-13>에서 확인할 수 있듯이, 상호보완적 상호작용만 발생한 사례보다 갈등 기반 상호작용과 메타인지적 상호작용이 함께 발생한 경우 모델의 의미와 결과적 동질성을 확인하는 등 집단 정교성이 나타나고 궁극적으로 수학적 모델의 질이 향상되는 효과가 나타났다. 집단 구성원 간의 상호작용에 따라 창의적 시너지 역시 다르게 발현될 수 있는 것이다(Woodman et al., 1993, p. 304). 두 가지 사례를 통해 수학적 모델 도출하기 단계에서 서로 다른 형태의 상호작용이 발생한 원인을 살펴보고자 한다.

먼저, 역할분담과 관련하여, 분담된 역할을 잘 수행했는지 여부에 따라 모둠 내 상호작용과 창의적 시너지가 달라졌다. 예컨대, 상호보완적 상호작용만 관찰된 2조의 경우, 갈등유발자인 S21, S23과 사고종합자인 S24가 자신들에게 부여된 역할을 적극적으로 수행하지 않았음을 확인하였다. 반면, 상호보완적 상호작용과 함께 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 관찰된 4조의 경우, 두 명의 갈등유발자 중 한 명[38]을 제외하고 모두 본인에게 부여된 역할을 수행하는 모습이 관찰되었다.

38) S42를 의미한다.

다음으로, 교사 발문과 관련하여, 모둠별로 제공된 교사 발문이 역할의 수행 및 상호작용에 영향을 미쳤다. 각 문항의 도입 시 문제 상황 및 요구되는 활동에 대해 설명하는 것과 별개로, 교사는 모둠별로 상황에 맞는 발문을 제공하고자 하였다. 모둠별로 제공된 발문은 원하는 반응을 이끌어내는 데 성공하기도 하고 실패하기도 하였다. 예를 들어, [그림 Ⅴ-21]에서, 교사는 발문을 통해 2조에 수학적 모델의 구체적인 예를 제공하였다. 하지만, 결과적으로 교사의 발문은 2조 학생들에게 답을 제공하는 역할을 하게 되었으며, 비판적 논의를 이끄는 데에는 실패하였다. 이는 단순화하기 단계에서 구체적인 발문이 필요하다는 주장과 배치되는 모습이다. 이에 대한 논의는 또 다른 예인 [그림 Ⅵ-23]을 통해 정리할 수 있다. [그림 Ⅴ-23]에서 교사는 4조에 직접 예를 제공하지 않고 갈등유발자의 역할 수행을 강조하는 발문을 하였다. 비록 갈등유발자인 S42의 갈등유발 활동을 이끌어내진 못하였지만, S42의 참여를 이끄는 데에는 성공하였다. 즉, '갈등유발자의 역할을 하라'는 구체적인 발문을 통해 반박과 검토가 수행될 수 있게 하는 것이 필요한 것이다.

위와 같은 분석의 결과는 학생의 역할분담과 교사의 안내자 역할에 대한 시사점을 제공한다. 학생의 경우 참여를 이끌어내는 것이 중요하며, 특히 갈등유발자와 사고종합자의 역할을 강조하는 것이 필요하다. 교사 역할과 관련하여, 교사는 학생 활동에 대한 지원의 균형을 유지해야 한다. 구체적인 예를 제공하는 안내는 집단의 다양한 사고를 막을 수 있으며, 소극적인 안내는 집단의 상호작용을 적극적으로 이끌어낼 수 없다. 이는 양질의 모델링 학습이 이루어지기 위해서는 교사 지원을 최소화하고 학생 참여를 극대화하는 것 사이의 균형을 유지하는 것이 중요함을 강조한 Blum & Ferri(2009, p. 52)의 주장과도 일치한다.

한편, 모둠 내 상호작용을 통해 모델을 도출하는 과정에서 나타난 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용은 여러 수학적 개념을 확인하는 기회를 제공하였다. 이로 인해 인터뷰에서도 수학 학습에 도움이 되었다는 의견이 제시되었다. 세 가지 유형의 상호작용이 관찰된 5조에 속한 학생 S53은 6번 문항의 수학적 모델 수합을 위한 모둠 활동을 한 것

과 관련하여, “다양한 의견이 나와서 도움이 되었고, 서로 토의하는 데 각 방법의 이유가 타당한지에 대한 반론이 모둠 활동을 통해 도움이 된 것 같다.”라고 하였다. 이러한 모습은 모델링 과정 자체가 해당 개념의 학습 기회를 제공한다는 Doerr & English(2003, pp. 131-132)의 주장과 일치한다. 또한, 집단 창의성이 곧 지식 구성 과정이라는 Zhou & Luo(2012, pp. 394-395)의 주장과도 일치한다. 나아가, 그동안 수학적 모델링 연구가 주로 개념학습 후 개념 응용 측면에서 이루어졌지만, 개념 도입을 위해서도 적용될 수 있다는 가능성을 보여주었다.

2.5. 최종 모델 산출 단계

7번 문항은 6번에서 수합된 수학적 모델 중 가장 적절한 모델을 선택하는 문항으로, 수합된 모델을 비판적으로 검토, 평가하는 메타인지적 상호작용이 요구된다. 하지만, 이전 단계까지의 수행 결과를 살펴보면, 모둠별로, 혹은 같은 모둠일지라도 상황에 따라 사고종합자 역할이 적극적으로 수행되지 않은 경우가 있음을 알 수 있다. 이에 따라, 메타인지적 상호작용의 유도를 위해 역할분담의 조정이 필요하다고 판단되어, 학생들의 역할분담을 조정하였다. 6번 문항까지의 활동이 끝난 후 진행된 교사 인터뷰에서도 이를 확인할 수 있다.

R : 6번 넘어갈 때, 그때 여기서는 이제, 그동안에 역할분담이 의견 보태기였다면 모든 걸 다 잊고 너는 방법 1만 고수하는 역할. 방법 2, 방법 3 해서, 서로 부딪혀 봐라.

T : 그러면 아예 방법 1, 2, 3 구성하는 역할을 줄 때, 주고 난 다음에 한 번 전략 짜 보게 한 2~3분 정도 각자에게 시간을 주는 게. 다 조용하게 한 다음에 어떻게 하면 너희가 1, 2, 3번을 할 것인가.

R : 세 명이니까 방법 1, 2, 3 고수하는 역할, 그리고 나머지 한 명은?

T : 자유롭게 비판해라. 너네는, 너는 고수하는 것도 없어. 그냥 다 비판하는 거야. 다 비판하는데 적절하게. (중략) 그런데 최대한 논리적으로 비판해야 된다.

R : 논리적으로.

T : 네, 그냥 아무 생각 없이 그건 싫어 이러면 안 되고, 지금까지 해 왔던 어떤 근거라든가 여기서 방법 1을 선택한 이유라든가 각각 방법을 선택한 어떤 이유와 지금까지 분석한 과제 정보를 근거로 제일 타당성 있게.

즉, 학생들의 역할분담과 관련한 다음의 원리를 추가로 추측한 뒤 교수실험에 반영하였다.

GMP-C7. 문항에서 요구하는 주된 상호작용 유형에 맞추어 학생들의 역할분담을 변경한다.

위의 반성 결과를 토대로, 집단 내 적극적인 메타인지적 상호작용을 유도하기 위해, 학생들의 역할분담을 조정하였다. 구성원 4명 중 3명에게 각각 6번 문항에서 수합한 3개 모델 중 한 개 모델의 타당성을 주장하면서, 그 외 모델을 옹호하는 다른 구성원의 주장을 논리적으로 반박할 것을 요구하였다. 남은 1명의 구성원에게는 3개 모델을 모두 비판적으로 검토, 평가하는 역할을 부여하였다. 교사는 새로운 역할분담을 소개하면서 비판적 논의를 강조하였다(T4). 또한, 수합된 모델에 대해 비판적인 태도를 견지할 것과 비판 시 논리적인 근거가 제시되어야 함을 지속적으로 강조하였다(T5, T7). 그리고, 논의 시작 전 본인의 생각을 정리할 시간을 제공하였으며, 논의 중에도 시간 부족 여부를 확인하면서 논의에 필요한 시간을 충분히 주고자 하였다(T6). 다음은 7번 문항 해결 과정에서 제시된 교사 발문이다.

T4: 7번은, 너희가 6번에서 살펴본 세 가지 방법이 있잖아. 어떤 게 제일 적절한지 고를 거야. 그런데 그냥 고르는 게 아니야. <u>지금 역할을 정해 줄게</u>. 첫 번째 자리에 있는 애들 있지? 너희는 ‘나는 무조건 1번이 최고다.’야. (중략) 그냥 우기는 것이 아니라 어떻게 해야겠어? <u>논리적으로 수학적으로.</u> 마지막 자리는 뭐하냐? 너희는 그냥 다 비판하는 거야.

T5: S11이 ‘1번이 중요해. 이러한 이유 때문이야.’, 얘기했어. 그러면 S12, S13, S14가 '아닌 것 같은데', 아닌 이유를 얘기하는 거야. (중략) 맞는 것 같아. 그래도 일단 비판하고 봐야 해.

T6: 바로 시작하면 너희가 몰려. (논리적인 근거 없이) '이거 아니야.' 이렇게 할 수 있잖아. 3분 정도 시간을 줄게. 아무 얘기 하지 말고 과연 내가 이기려면, 과연 내 주장이 맞게 하려면 어떻게 전략을 세워야 하지? 전략 세우는 시간을 가져 보세요. 자, 2분 더 줄게.

T7: <u>최대한 수학적으로 논리적으로 생각하고 비판하고 방어하는 거야.</u>

새롭게 조정된 역할분담과 비판적 논의를 강조함에 따라 각 조에서 메타인지적 상호작용이 관찰되었다. 앞서 3번과 6번 문항에서 조에 따라 발현된 상호작용 유형이 달랐던 것과 달리, 모든 조에서 메타인지적 상호작용이 관찰된 것이다. 그 중, 여기에서는 대표 사례로 3조의 활동을 살펴본다. 3조의 경우, 3번 문항의 수학적으로 다양하게 표현하기 단계 수행 시 상호보완적 상호작용과 갈등 기반 상호작용만 관찰되었으며, 메타인지적 상호작용은 관찰되지 않았다([그림 Ⅴ-15] 참고). 이러한 특징을 갖는 3조의 사례 분석은 수학적 모델 도출 단계에서 집단 창의성 발현과정을 살펴보게 할 뿐 아니라, 메타인지적 상호작용을 통한 집단 창의성 발현을 위해 필요한 요소를 확인할 수 있게 할 것이다.

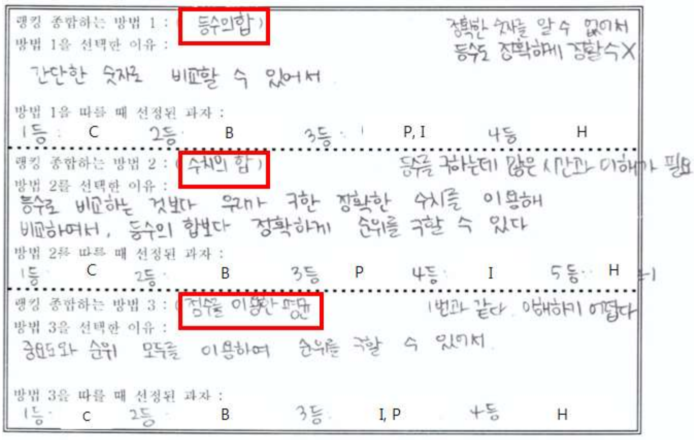
2.5.1. 메타인지적 상호작용의 발생 사례

[그림 Ⅴ-24]는 3조의 6번 문항 활동결과이다. 여기에 제시된 세 개의 모델 중, S34는 등수의 합, S33은 수치의 평균[39], S32는 점수를 이용한 평균(가중 평균) 모델을 각각 옹호하고 다른 모델을 비판적으로 검토하는 역할을 맡았다.[40] S31은 모든 수학적 모델을 비판적으로 검토하는 역할을 맡았다.

---

39) [그림 Ⅴ-24]의 수치의 합 모델은 초기에 수치의 평균 모델로 제시되었으며, 논의 과정에서 수치의 합 모델로 수정되었다.

40) 등수의 합 모델은 과자별 등수의 합을 구하는 모델을, 수치의 합 모델은 g당 가격, 열량, 지방 함유량에 대한 과자별 수치를 그대로 합한 모델을, 점수를 이용한 평균 모델은 가중평균 모델이다.



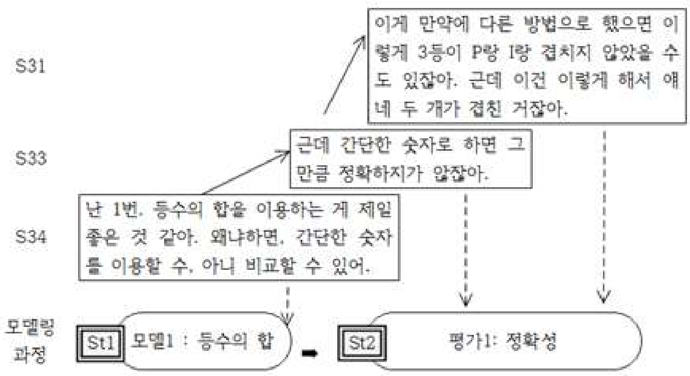
랭킹 종합하는 방법 1 : (등수의합)
방법 1을 선택한 이유 :
간단한 숫자로 비교할 수 있어서
정확한 숫자를 알 수 없어서 등수도 정확하게 정할수X
방법 1을 따를 때 선정된 과자 :
1등 : C 2등 : B 3등 : P, I 4등 H

랭킹 종합하는 방법 2 : (수치의 합)
등수를 구하는데 많은 시간과 이해가 필요
방법 2를 선택한 이유 :
등수로 비교하는 것보다 우리가 구한 정확한 수치를 이용해 비교하여서, 등수의 합보다 정확하게 순위를 구할 수 있다
방법 2를 따를 때 선정된 과자 :
1등 C 2등 B 3등 P 4등 I 5등 H

랭킹 종합하는 방법 3 : (점수를 이용한 평균)
1번과 같다. 이해하기 어렵다
방법 3을 선택한 이유 :
공헌도와 순위 모두를 이용하여 순위를 구할 수 있어서
방법 3을 따를 때 선정된 과자 :
1등 C 2등 B 3등 I, P 4등 H

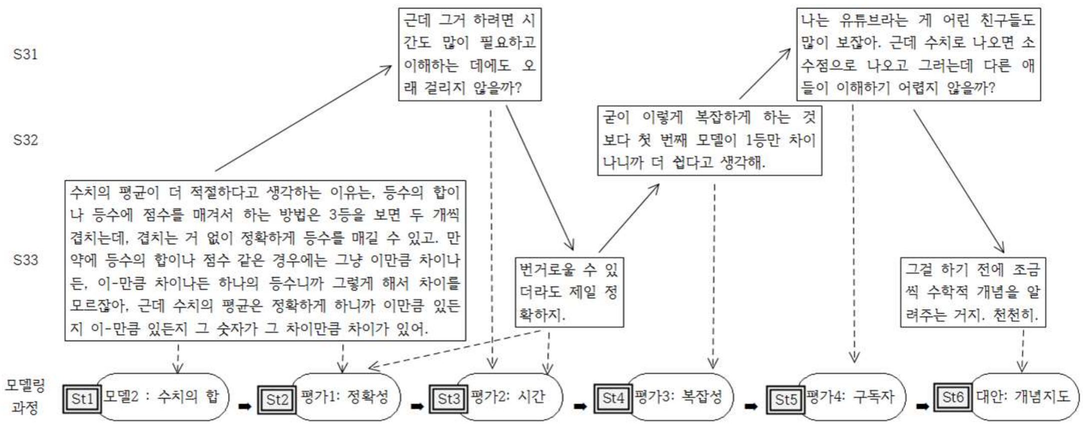
[그림 Ⅴ-24] 3조의 6번 문항 활동지

[그림 Ⅴ-25], [그림 Ⅴ-26], [그림 Ⅴ-27]은 각각 등수의 합, 수치의 합, 점수를 이용한 평균 모델에 대한 비판적 검토와 평가 과정, 즉, 메타인지적 상호작용 과정을 보여준다. [그림 Ⅴ-25]에서 S34는 간단한 숫자(예를 들어, 1등, 2등)를 사용할 수 있다는 편리성을 내세우며 등수의 합 모델의 적절성을 주장하였다(St1). S34의 주장에 대해 S33이 간단하지만 정확성이 부족하다는 평가를 하고(St2), 이어서 S31이 구체적인 예를 통해 S33의 의견을 보충하면서 해당 모델이 과자별 정확한 등수를 가리기에 어려움을 밝혔다(St3). 실제로, [그림 Ⅴ-24]에서 확인할 수 있듯이, 해당 모델을 사용할 경우 3등에서 동점자가 발생한다.



[그림 Ⅴ-25] 3조의 등수의 합 모델에 대한 검토와 평가

이어진 [그림 V-26]의 상호작용 사례에서, S33은 첫 번째 모델인 평균 모델의 한계점으로 제시된 정확성을 보완할 수 있다는 의견을 제시하며 수치의 평균 모델의 적절성을 주장하였다(St1, St2). 수치의 합이 아닌 수치의 평균 모델에 대한 논의가 먼저 제시되었는데[41], 수치의 평균에 대해 S31이 시간이 오래 걸린다는 새로운 관점에서의 한계점을 지적하자(St3), S33은 한계점을 인정하면서도 정확성을 먼저 봐야 함을 주장하였다(St2). 동일 맥락에서 S32는 복잡성을 지적하였다(St4). 이후 S31이 과제의 배경이 되는 유튜브의 경우 주된 구독자가 초등학생인 점을 들면서 소수와 평균 개념을 어려워할 수 있음을 지적하자(St5), S33은 오히려 개념학습을 함께 할 수 있다는 장점으로 평가하였다(St6).

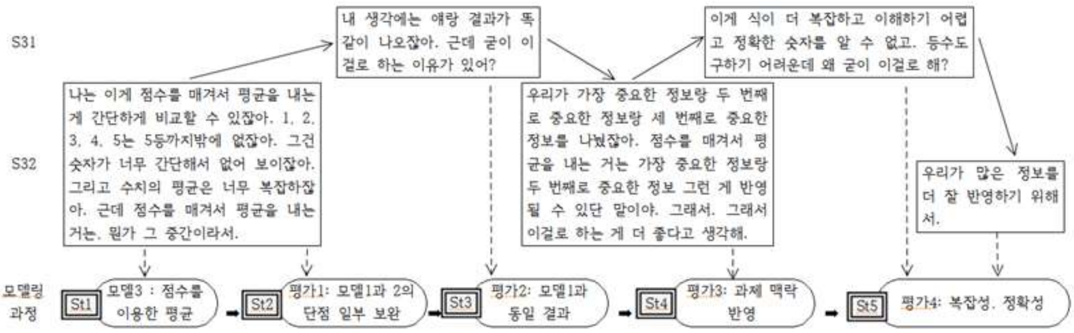


[그림 V-26] 3조의 수치의 평균 모델에 대한 검토와 평가

[그림 V-27]에서 S32는 점수를 이용한 평균 모델(모델3)이 첫 번째로 제시된 평균 모델(모델1)의 단순함과 두 번째로 제시된 수치 모델(모델2)의 복잡성을 보완할 수 있으므로 가장 적절한 모델이라고 주장하였다(St1, St2). 이에 대해 S31이 모델3의 결과가 모델1과 같음에도 계산은 더 복잡하다는 평가를 하자(St3), S32는 과자 선택 시 특정 정보를 고려해야 하는 과제 맥락을 제시하면서 모델1과 달리 모델3은 정보의 중요도

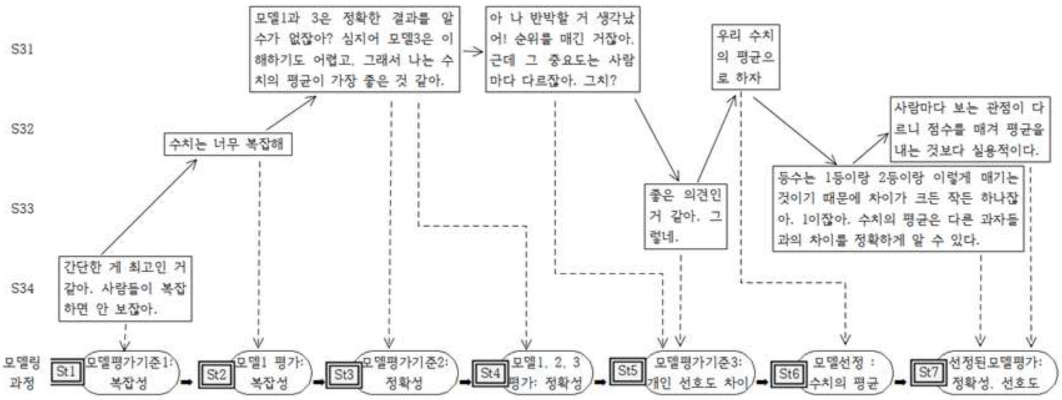
41) 이후 논의 과정에서 복잡성 개선을 위해 수치의 합 모델로 수정되었다.

를 차등 적용할 수 있음을 주장하였다(St4). S31이 모델의 복잡성과 정확성을 제시하며 모델의 적절성에 대해 다시 의문을 제기하자(St5), S32는 S31이 제기한 의문을 인정하면서도 과제의 맥락으로서 정보 반영의 중요성을 다시 한번 강조하였다(St5).



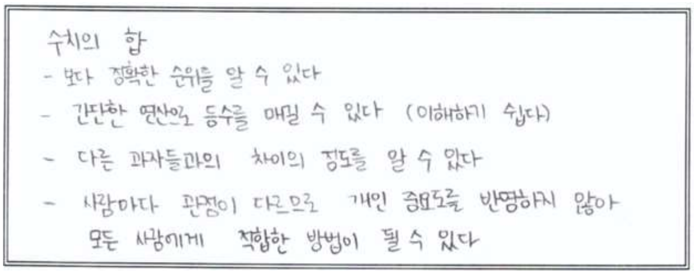
[그림 Ⅴ-27] 3조의 가중 평균 모델에 대한 검토와 평가

[그림 Ⅴ-25], [그림 Ⅴ-26], [그림 Ⅴ-27]에 제시된 각 모델에 대한 논의에서 여러 가지 평가 기준이 다양하게 제시되었다. 이는 모델을 평가하는 관점의 증가로도 볼 수 있다. 즉, 집단 유창성과 집단 융통성이 발생하였다. 나아가, 다양한 평가 기준을 이용하여 모델을 다양한 관점에서 검토하는 과정에서, 모델에 대한 이해도가 높아지는 집단 정교성이 발생하였다. 모델 평가의 공통적인 초점은 모델의 복잡성과 정확성에 있다. 이는 3조에서 선정한 모델 선택 기준으로 볼 수 있다. 이후 3조 학생들은 복잡성과 정확성을 토대로 모델에 대한 평가를 이어갔다. 세 가지 모델에 대한 종합적인 검토 및 평가가 이루어진 [그림 Ⅴ-28]의 연결된 화살표의 진행 방향에 따른 논의를 살펴보면 다음과 같다.



[그림 Ⅴ-28] 모델 선택 기준에 따른 3조의 세 가지 모델 평가

먼저, S34가 지금까지의 논의를 토대로 모델 평가 기준으로 복잡성을 강조하자(St1), S32가 동의하며 수치의 평균 모델은 복잡성이 높아 부적절하다고 평가하였다(St2). 반면, S32는 모델 평가 기준으로 정확성을 강조하며, 등수의 합 모델과 점수를 이용한 평균 모델은 정확성이 부족하여 부적절하며 수치의 평균 모델이 적절하다고 평가하였다(St3, St4). 복잡성과 정확성에 따른 모델 선택의 갈등이 존재하는 가운데, S31은 새로운 평가 기준으로 개인 선호도 차이를 제시하며, 점수를 이용한 평균 모델의 경우 본인들의 선호도가 반영되었기 때문에 다른 사람에게 제안하는 것이 적절치 않음을 주장하였다(St5). S33이 이에 동의하였으며(St5), 다른 조원들 역시 모델 선택의 좋은 기준이라고 평가하였다. 이후 수치의 평균 모델이 선택되고(St6), S33과 S32는 모델 선택 기준인 정확성과 개인 선호도 반영의 타당성을 토대로 모델의 적절성을 강조하였다(St7). 이후, 또 다른 모델 선택 기준인 복잡성에 부합할 수 있도록 수치의 평균이 아닌 합으로 모델이 개선되었다. 모델 선택 기준에 부합하지 않는 모델의 한계점을 논의하는 과정에서 모델이 개선되는 집단 정교성이 발생한 것이다. [그림 Ⅴ-29]는 7번 문항에 대한 3조의 활동 결과물로, 학생들이 정리한 수치의 합 모델 선정이유를 보여준다.


수치의 합
- 보다 정확한 순위를 알 수 있다
- 간단한 연산으로 등수를 매길 수 있다 (이해하기 쉽다)
- 다른 과자들과의 차이의 정도를 알 수 있다
- 사람마다 관점이 다르므로 개인 중요도를 반영하지 않아 모든 사람에게 적합한 방법이 될 수 있다

[그림 V-29] 3조의 7번 문항 활동지

English & Watters(2004)는 학생들이 집단 내 상호작용을 하는 과정에서 아이디어가 점점 발전하고 수학적 모델이 정교화됨을 보였다. 또한, Lesh & Doerr(2012, p. 379)는 학생들이 느끼는 모델의 불안정성이 집단 내 갈등을 유발함으로써 모델의 정교화를 이끄는 원동력이 된다고 하였다. 위의 사례에서도, 모델이 정확성과 같은 모델 선택 기준을 충분히 충족시키지 못한다고 인지할 때 상호작용이 유도되었고, 상호작용을 하는 과정에서 아이디어가 점점 발전해 가면서 모델이 개선되었다. 결과적으로, 수학적 모델 선택을 위한 상호작용 과정은 모델 선택 기준에 대한 아이디어가 확장적으로 발전하는 과정이며, 확장된 기준을 따를 때 제시된 모델의 적절성에 대한 논의가 이루어지면서 모델이 개선될 수 있다.

한편, 수학적 모델 선택을 위한 상호작용에서 모델 선택 기준을 논의할 때 크게 세 가지 초점이 관찰되었다. 첫째, 집단 내 공유된 수학적 모델 자체를 설명하거나 정당화, 평가하는 등 모델 자체에 초점을 둔 상호작용이 관찰되었다. 모델 자체의 정확성, 복잡성 등에 대한 논의가 이에 해당한다. 둘째, 주어진 과제의 맥락을 가장 적절하게 반영했다고 생각되는 수학적 모델을 설명하고 정당화, 평가하는 등 과제 맥락에 초점을 둔 상호작용이 관찰되었다. 과제에서 요구하는 정보에 가중치를 부여하는 점수를 부여한 평균 모델에 대한 평가가 이에 해당한다. 셋째, 과제 맥락과 별개로 자신들이 경험한 실제 생활에 초점을 둔 상호작용이 관찰되었다. 모델 선택 기준으로 제시된 개인 선호도의 차이가 이에 해당한다. 앞에서 살펴보았듯이, 수학적 모델 선택 기준에 대한 초점이 이동함에 따라 제시되거나 선택되는 수학적 모델이 함께 변화해갔다. 다른 조에서도

이러한 모습이 관찰되었는데, 5조 역시 과제 맥락에 초점을 둘 때는 가중평균이 적절하지만 실세계 맥락에 초점을 둘 때는 개인마다 선호도가 다르므로 특정 정보에 가중치를 두는 것이 적절하지 않다고 판단하였다.

3조의 최종 모델 산출 단계에서 관찰된 메타인지적 상호작용에서의 창의적 시너지는 <표 Ⅴ-14>와 같다. 상호작용 과정은 각 모델에 대한 이해를 높이면서 과제 해결의 결과물인 모델의 완성도가 향상되어 가는 집단 정교성 발현과정이기도 하다. 종합하면, 메타인지적 상호작용에서 집단 유창성과 집단 융통성이 발생하였으며, 이는 집단 정교성 발생으로 연결되었다.

<표 Ⅴ-14> 3조의 최종 모델 산출 단계에서 관찰된 집단 창의성

상호작용 유형	창의적 시너지
메타인지적 상호작용	- 집단 유창성과 집단 융통성 : 모델 평가 관점의 증가 - 집단 정교성 : 각 수학적 모델의 의미(차별적 특징, 장단점) 확인 : 주어진 상황에 대한 모델의 적절성 검토 : 수학적 모델의 완성도 향상

2.5.2. 논의

집단별로 메타인지적 상호작용이 나타나는 과정에서 동일한 수학적 모델을 서로 다르게 평가하거나 다른 모델을 최종 선택하는 모습이 관찰되었다. 예를 들어, 4조와 5조는 6번 문항에서 등수의 합, 가중치, 최빈값 모델을 동일하게 수합하였지만, 7번 문항에서 4조는 최빈값 모델을, 5조는 가중치 모델을 각각 최종 모델로 선택하였다. 1조 역시 6번 문항에서 이들과 유사한 등수의 합과 최빈값 모델을 수합하였지만, 7번 문항의 최종 모델 선택 시 두 모델의 결합 모델을 제시하였다.

모둠 내 상호작용을 통해 모델을 평가하고 선택하는 과정에서 대푯값 개념에 대한 학습이 이루어지기도 하였다. 학생들은 평균, 최빈값 등 이

미 배운 개념의 장단점을 다시 확인하고, 가중평균과 같이 수업시간에 배우지 않은 개념을 스스로 구성하는 모습을 보였다. 수업 후 이루어진 인터뷰에서도 수학 학습에 도움이 되었다는 의견이 많이 제시되었다. S31은 7번 문항의 모델 선택을 위해 메타인지적 상호작용을 수행한 것과 관련하여, “다양한 의견을 듣고 보니 이것도 생각보다 좋은 점이 많네? 이건 단점이 더 많네? 이런 생각을 해서 (수학적 모델의) 다양한 장단점을 찾아볼 수 있어서 좋았다.”라고 하였다. S52 역시 “상대의 방법을 비판하면서 수학적인 표와 그래프를 알아야 했고, 쓰임에 따라 다른 방법이 더 좋다는 걸 알았다.”라고 하였다. 이러한 모습은 수학적 모델링이 해당 수학적 개념의 학습 기회를 제공한다는 김선희(2005, p. 316), Doerr & English(2003, pp. 131-132)의 주장과 일치하며, 집단 창의성 발현과정이 곧 지식 구성 과정이라는 Zhou & Luo(2012, pp. 394-395)의 주장과도 일치하는 결과를 보여준다.

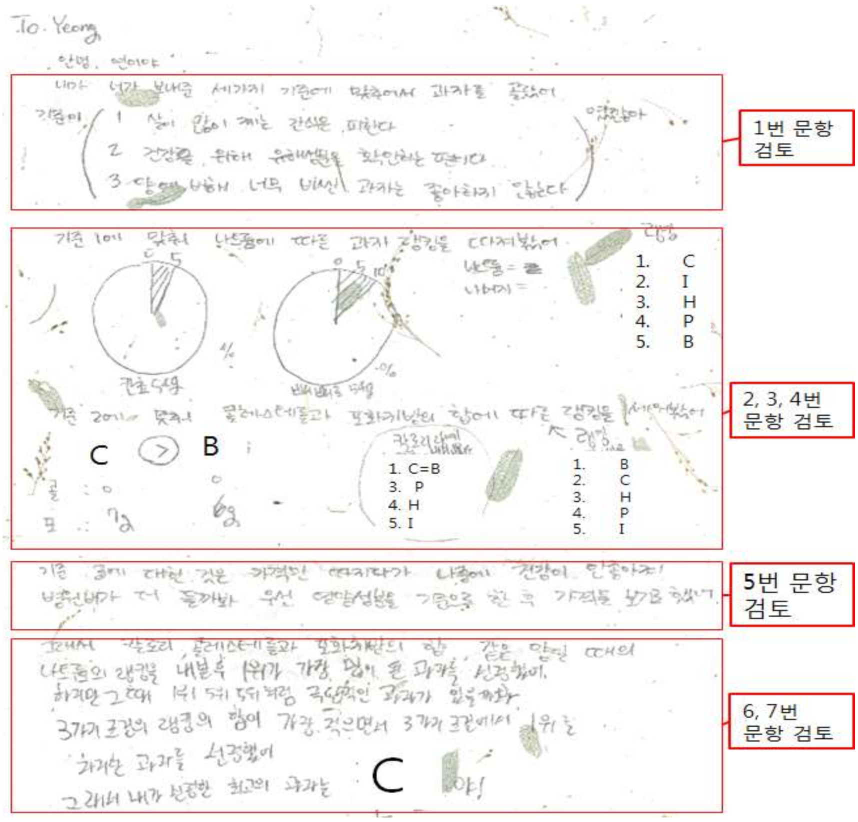
나아가, 모둠 내 상호작용을 통한 모델의 반복적인 구성 과정에서 논의 초점이 현실에서 수학으로 옮겨지면서 수학 학습이라는 일반화된 효과를 가져왔다(Doerr & English, 2003, p. 130; Lesh & Doerr, 2003, pp. 23-25). 학생들이 수학적 모델 도출 단계를 수행하는 과정에서 일상언어적 표현이 수학언어적 표현, 나아가 수학기호적 표현으로 변화해 나감을 볼 수 있었다. 사후 인터뷰 중 S43의 “수학적 사고라고 할 수 있을지 모르겠지만, 머리를 쓰게 된다.”는 발언과 S53의 “다른 방법을 비판하기 위해 모둠에서 만든 그래프를 보고 반론을 하고, 3가지 조건과 가장 알맞은 과자 2개를 선정하는 데에 관해 고민하고 충돌하며 스스로 생각해보는 수학적 능력을 키우는 데 도움이 되었다.”라는 발언은 이를 뒷받침한다.

모델링 활동과 상호작용의 반복적인 수행은 조별로 활동의 개선을 가져왔다. 3번 문항에서 상호보완적, 갈등 기반 상호작용을 한 3조의 경우, 7번 문항에서는 메타인지적 상호작용을 함께 하는 모습을 보였다. 특히, 3번 문항 해결 과정에서 비판적 검토 및 평가를 제대로 수행하지 못한 S32의 경우, 7번 문항 해결 과정에서는 적극적으로 비판적 논의에 참여

하는 모습을 보였다. S32는 사후 인터뷰에서 “모둠 친구들이 처음에는 소극적이었지만, 갈수록 더 열정적으로 토론하고 의견이 충돌했다. 그러면서 더 논리적으로 말할 수 있게 되고 판단할 수 있게 되었다.”라고 모둠 활동을 평가하였다. 이는 모델링 사이클의 반복을 통해 학생들의 해석과 표현이 발전하는 등 활동 자체로부터 학습이 이루어진다는 Lesh & Doerr(2012, pp. 376-377), Mousoulides, Christou, & Sriraman(2008, p. 303)의 주장을 뒷받침하는 결과이기도 하다.

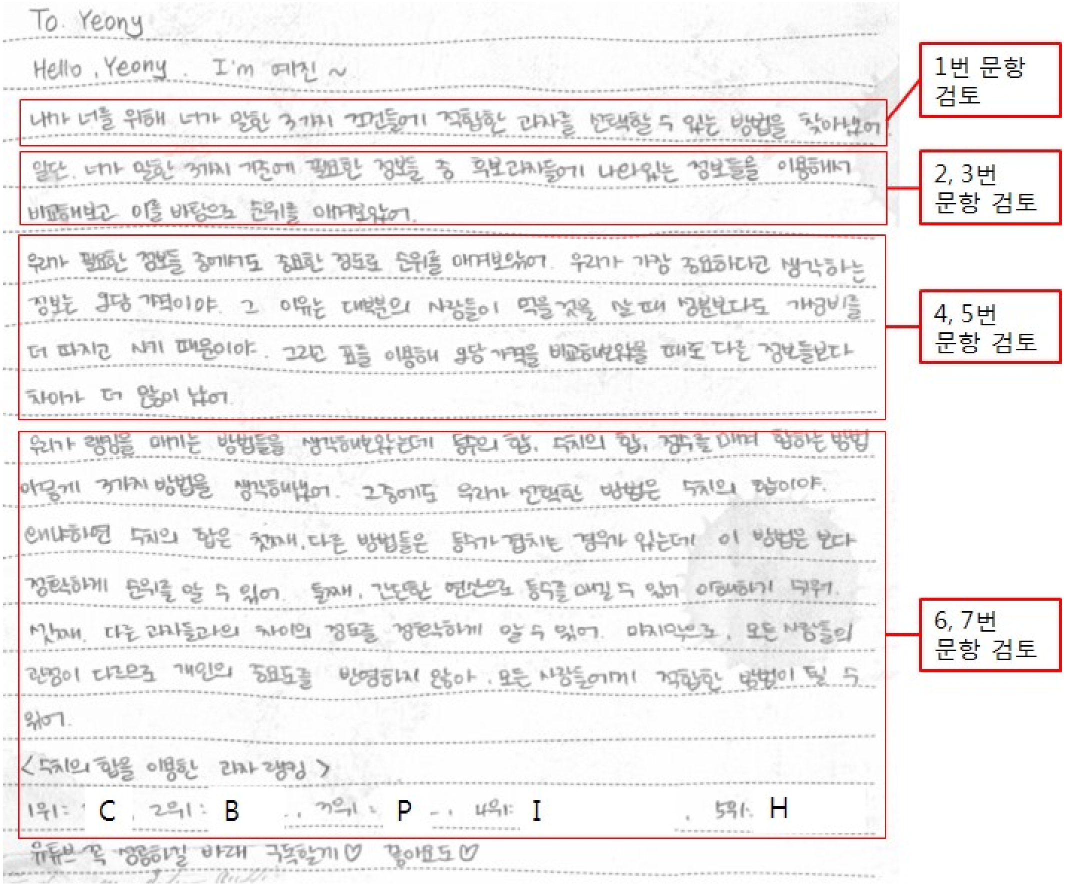
2.6. 최종 산출물

위의 과정을 거쳐 각 모둠은 최종 산출물을 도출하였다. 최종 산출물은 Yeony에게 쓰는 편지이며, 모둠별 최종 산출물은 다음과 같다.



[그림 V-30] 1조의 최종 산출물

위의 [그림 Ⅴ-30]은 1조의 최종 산출물을 보여준다. [그림 Ⅴ-30]의 학생 활동지에 별도로 표시하였듯이, 1조는 최종 산출물인 편지를 작성하는 과정에서 과제 맥락의 검토부터 최종 모델 도출에 이르기까지의 모든 활동들을 반성해보는 기회를 가졌다. 3조와 5조의 최종 산출물에서도 학생들이 수학적 모델링의 전 과정을 검토하였음을 확인할 수 있다(각각 [그림 Ⅴ-31], [그림 Ⅴ-32] 참고).



To. Yeony

Hello, Yeony. I'm 예진 ~

내가 너를 위해 너가 말한 3가지 조건들에 적합한 과자를 선택할 수 있는 방법을 찾아냈어

일단, 내가 말한 3가지 기준에 필요한 정보들 중 후보과자들에 나와있는 정보들을 이용해서 비교해보고 이를 바탕으로 순위를 매겨보았어.

우리가 필요한 정보들 중에서도 중요한 정도로 순위를 매겨보았어. 우리가 가장 중요하다고 생각하는 정보는 당 가격이야. 그 이유는 대부분의 사람들이 먹을것을 살 때 성분보다도 가성비를 더 따지고 사기 때문이야. 그리고 표를 이용해 당 가격을 비교해보았을 때도 다른 정보들보다 차이가 더 많이 났어.

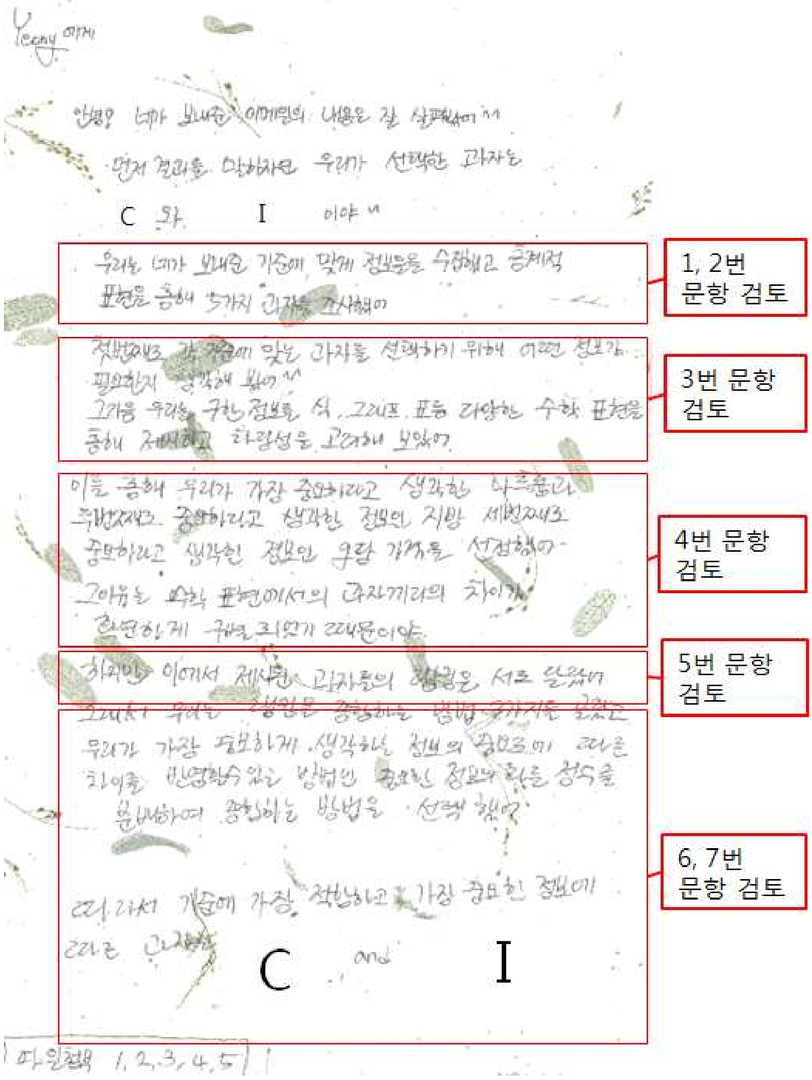
우리가 랭킹을 매기는 방법들을 생각해보았는데 등수의 합, 두치의 합, 점수를 매겨 합하는 방법 이렇게 3가지 방법을 생각해냈어. 그중에도 우리가 선택한 방법은 두치의 합이야. 왜냐하면 두치의 합은 첫째, 다른 방법들은 등수가 겹치는 경우가 있는데 이 방법은 보다 정확하게 순위를 알 수 있어. 둘째, 간단한 연산으로 등수를 매길 수 있어 이해하기 쉬워. 셋째, 다른 과자들과의 차이의 정도를 정확하게 알 수 있어. 마지막으로, 모든 사람들의 관점이 다르므로 개인의 중요도를 반영하지 않아, 모든 사람들에게 적합한 방법이 될 수 있어.

<두치의 합을 이용한 과자 랭킹>

1위: C, 2위: B, 3위: P, 4위: I, 5위: H

유튜브 꼭 성공하길 바래 구독할게♡ 좋아요도♡

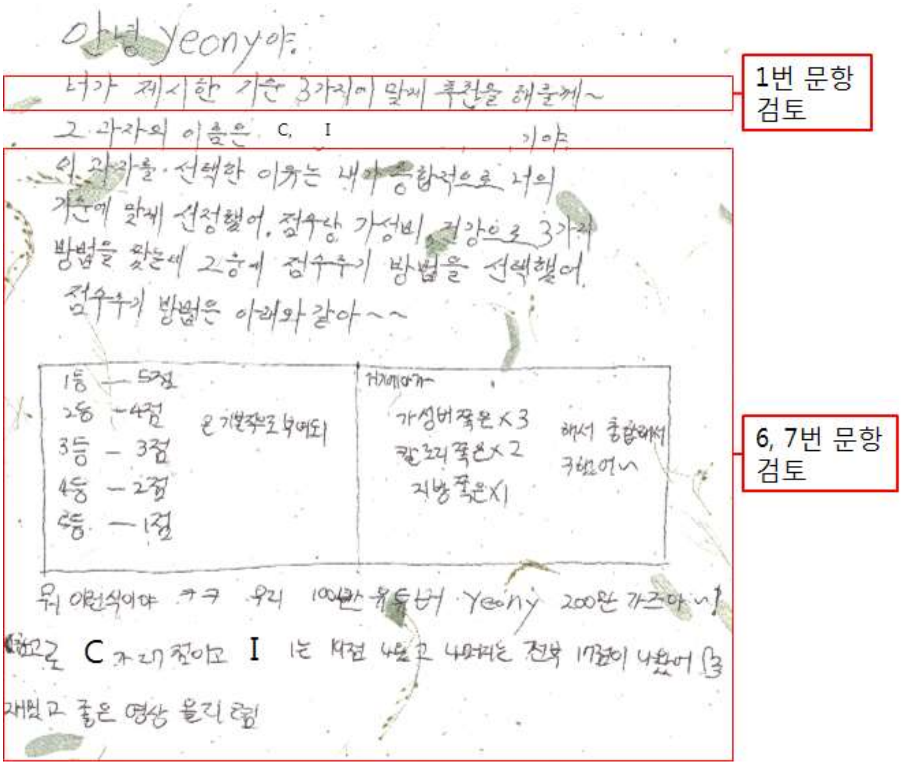
[그림 Ⅴ-31] 3조의 최종 산출물



[그림 Ⅴ-32] 5조의 최종 산출물

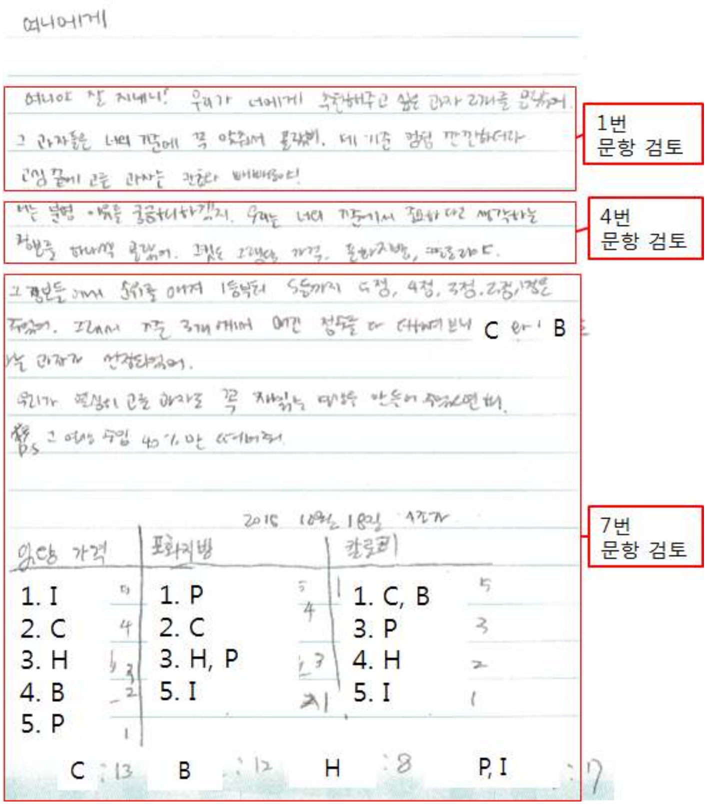
1, 3, 5조의 최종 산출물이 수학적 모델링의 전 과정을 보여주는 것과 달리, 2조와 4조에서는 특정 단계의 활동을 선별적으로 반성하여 최종 산출물을 제시하였다. 2조가 작성한 최종 산출물에는 과제 맥락에 대한 검토 후 중간 과정에 대한 제시 없이 집단 내에서 고려된 수학적 모델과 선택된 최종 모델이 바로 제시되었다([그림 Ⅴ-33] 참고). 4조가 작성한 최종 산출물에는 과제 맥락에 대한 검토 후 단순화하기를 거쳐 집단 내에서 선택된 최종 모델이 바로 제시되었다([그림 Ⅴ-34] 참고). 이들 두

조는 앞의 조들과는 달리 수학적 모델링의 각 단계를 자세하게 검토하지 않았지만, 선택된 최종 모델을 과제 맥락에 적용하는 과정을 자세히 기술하였다.



[그림 Ⅴ-33] 2조의 최종 산출물

모둠별로 최종 산출물 작성의 방향이 일부 다르게 나타나기도 하였지만, 공통적으로 최종 산출물 작성은 학생들에게 최고의 과자를 선택하기 위해 수행한 활동을 반성해보는 기회를 제공하였다. 즉, 학생들은 모델링 과정 전체에 대한 반성 및 성찰의 기회를 갖게 되었는데, 이는 상위 활동에 대한 내면화를 가져온다는 점에서 Sfard(1991)이 언급한 메타수준 학습을 일어난 것으로 볼 수 있다. 이와 같은 활동의 결과는 수학적 모델링 활동이 단계별 문항의 해결에서 그치지 않고 최종 산출물을 별도로 제작하는 것이 학생들에게 더 유용한 기회가 될 것임을 보여준다.



[그림 Ⅴ-34] 4조의 최종 산출물

3. 회고분석

본 연구에서는 예비설계를 통해 수업 설계의 여섯 가지 원리를 추측한 바 있다. 하지만 교수실험을 통해 반복적으로 검증하였듯이, 여섯 가지 원리 중 교사 역할(PMG-C1), 학생 역할(PMG-C6), 활동지 구성(PMG-C3, C4) 측면에서 제시된 원리가 개선되어야 함을 확인하였다. 특히, 교실 내 4인 1조로 집단을 구성할 때, 한 학급의 학생 수 20명을 기준으로 5개의 조가 구성되므로 교사가 모든 조의 적절한 순간에 적절한 발문을 제공하기는 힘들다. 본 연구에서도 20명의 학생이 5개의 조를 구성하였는데, 조별 발문이 필요한 순간에 적절히 제공되지 못하는 모습이 관찰되었다. 이는 물리적, 시간적인 한계로서, 교사의 역할에 한계가 존재할 수밖에 없음을 보여준다. 나아가, 교사의 역할을 보완하기 위해

위에서 제시한 학생들의 역할분담, 그리고 활동지와 같은 자료의 구성이 무엇보다 중요함을 보여준다. 이에 따라, 여기에서는 교사와 학생 역할의 두 가지 측면과 더불어 활동지 구성 원리까지 포함한 수정 방향을 제시하고자 한다. 이들 세 가지 측면에서의 원리는 분리되지 않으며 통합적으로 고려되어야 하는 것이다.

이에 따라, 이 절에서는 예비설계와 교수실험 자료 및 결과를 반성함으로써 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리를 검증 및 수정한다. 더불어, 예비설계와 교수실험의 연구 과정에서 수집한 자료를 반성함으로써 개발된 자료와 수업의 적절성을 확인하고 추가 수정을 통해 최종 자료와 수업설계안을 제시한다.

구체적으로, 아래에서는 수학적 모델링 활동지, 역할분담, 교사지도안과 수업설계안 각각의 수정 방안에 대해 좀 더 자세히 논의하면서, 활동지 구성과 학생 역할 및 교사 역할과 관련한 수업 설계 원리의 개선 방향을 함께 분석한다. 수학적 모델링 과제의 경우 초기 1차 교수실험 후 수정된 결과물([그림 Ⅴ-3] 참고)이 후기 교수실험에서도 적절하다고 검증되어, 추가 수정은 하지 않는다.

3.1. 회고분석 후 수정된 수학적 모델링 활동지

각 문항에서 나타날 것으로 기대하는 상호작용 유형과 관련하여, 메타인지적 상호작용을 유도할 수 있는 문항을 좀 더 구체적으로 제시할 필요가 있음을 확인하였다. 초기 교수실험 과정에서 이를 위해 반복적으로 활동지 문항이 수정되었으며, 후기 교수실험에 적용된 활동지(<표 Ⅴ-4> 참고) 역시 메타인지적 상호작용을 강조하기 위한 방향으로 수정되었다. 예를 들어, 4번 문항의 단순화하기 단계에서 메타인지적 상호작용을 유도하기 위해, ‘단순화를 위한 기준 선정의 이유를 제시하고 제시된 이유의 타당성 이야기’ 문구를 제시하였다. 이 문구의 본래 의도는 집단 내 메타인지적 상호작용을 통해 해당 기준을 사용한 이유가 적절한지에 대해 평가할 것을 유도한 것이다. 하지만 2조의 경우 상호보완적 상호작

용이 나타나는 데 그쳤다. 이와 같은 모습은 다른 문항에서도 관찰되었는데, [그림 Ⅴ-15]에서 3조는 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에서 메타인지적 상호작용으로 연결되지 않은 갈등 기반 상호작용에 머물렀다. 결과적으로, 수학적 모델링의 각 단계에서 메타인지적 상호작용이 발생할 것을 기대하면서 제시한 활동지 문항과 답안 작성 방법이 그 역할을 다하지 못한 것이다. 이를 개선하기 위해 메타인지적 상호작용을 위한 문구가 좀 더 구체적으로 제시될 필요가 있다. 더불어, 교수실험 과정에서 PMG-C3이 갈등 기반 상호작용을 유도하기 위한 문항 구성과 차이가 크지 않음을 확인하였다. 이에 따라, 예비설계에서 추측된 PMG-C3, C4를 통합 및 수정하여 활동지 구성의 원리를 다음과 같이 제시하고자 한다.

PMG3. 활동지 문항별로 기대되는 상호작용을 구체적으로 안내한다.

교수실험 결과, 동일한 수학적 모델링 단계를 수행할 때에도 메타인지적 상호작용이 유도된 경우 창의적 시너지가 더욱 확장적으로 발생하였다. 즉, 수학적 모델링 활동 시 메타인지적 상호작용을 유도하는 것이 필요함을 의미한다. 이에 따라, 다음과 같이 메타인지적 상호작용을 유도하기 위한 활동지 구성의 원리를 추가로 제시하고자 한다.

PMG4. 모든 문항에서 메타인지적 상호작용을 안내한다.

수정된 원리에 따라 수정된 최종 활동지는 다음의 <표 Ⅴ-15>와 같다(수정된 부분 밑줄 참고). PMG3을 반영하기 위해 각 문항에서 요구하는 상호작용을 구체적으로 제시하였다. 또한, 각 문항에서 메타인지적 상호작용을 유도하는 발문을 추가하였다. 이어서 제시되는 [그림 Ⅴ-35]와 [그림 Ⅴ-36]은 최종 활동지 2번과 3번 문항의 구체적인 활동지 답안 작성 방법의 예이다.

<표 Ⅴ-15> 회고분석 후 수정된 최종 활동지 문항

활동지	문항
활동지 1	1번 문항 : 어떠한 상황인가요? 문제가 되는 상황은 무엇인지, 머릿속에 떠오르는 상황을 모둠 친구들과 함께 이야기해 봅시다.
	2번 문항 : 각 기준에 맞는 과자를 선택하기 위해 어떠한 정보가 필요한지 모둠 친구들과 함께 이야기해 봅시다. 가능한 많은 정보를 제시합니다. 제시한 정보가 각 기준에 해당하는지 검토합니다.
활동지 2	3번 문항 : 2번에서 필요하다고 생각한 정보를 모든 과자에 대해서 모둠 친구들과 함께 구해봅시다. 구한 정보를 식, 그래프, 표 등 다양한 수학 표현을 이용하여 제시하고, 해당 표현을 사용한 이유를 말해봅시다. 해당 표현을 사용한 이유에 반대하는 의견과 찬성하는 의견을 제시하고, 의견이 타당한지 이야기 나누어 봅시다. 가장 적절하다고 생각되는 수학 표현을 이용하여 필요한 정보를 표현합니다. 예를 들어, Yeony의 기준1에 맞는 과자를 선택하는데 필요한 정보가 열량이라고 생각한다면, '필요한 정보 : (열량)'을 기재하고 모든 과자의 열량을 수집한 뒤 수집한 값들을 표나 그래프, 식으로 표현합니다.
활동지 3	4번 문항 : 3번 문항에서 '필요한 정보'로 제시한 열량, 나트륨과 같은 정보들을 가장 중요한 순으로 3가지 선정하고, 그 이유를 제시합니다. 제시한 이유에 반대하는 의견과 찬성하는 의견을 제시하고 반대 의견과 찬성하는 의견이 타당한지 이야기 나누어 봅시다. 이야기를 나눈 뒤, 가장 타당하다고 생각되는 기준에 따라 가장 중요한 정보 3가지를 제시합니다.
	5번 문항 : 4번에서 선정한 중요도에 따라, 3번의 답에 제시된 과자별 정보를 다시 살펴봅시다. 각 중요도에 따른 과자 랭킹을 정합니다.
활동지 4	6번 문항 : 5번의 답에 제시된 과자들의 랭킹은 서로 같은가요, 다른가요? 만약 랭킹이 서로 다르다면, 최고의 과자를 어떻게 선정할 수 있을까요? 서로 다른 랭킹들을 종합적으로 이용하여 최고의 과자 2개를 선택할 수 있는 방법을 3가지 생각해 봅시다. 각 방법들의 특징을 장점과 단점으로 나누어 제시하고, 제시한 의견이 타당한지 이야기 나누어 봅시다.
	7번 문항 : 6번에서 살펴본 3가지 방법 중 가장 적절한 방법을 선택해봅시다. 해당 방법을 선택한 이유에 반대하는 의견과 찬성하는 의견을 제시하고, 의견이 타당한지 이야기 나누어 봅시다. 이야기를 나눈 뒤, 가장 적절하다고 생각되는 수학적 모델을 선택합니다.
활동지 5	8번 문항 : 지금까지의 분석 결과를 이용하여 Yeony에게 최고의 과자 2개를 추천하는 편지를 작성하려고 합니다. 아래에 편지 내용을 대략적으로 스케치해 보고, 편지지에 편지를 작성합니다.

[그림 Ⅴ-35]에 제시된 2번 문항의 구체적인 활동지는 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계에 메타인지적 상호작용이 반영된 사례를 보여준다. 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계의 경우, 나타날 것으로 기대되는 주된 상호작용 유형은 상호보완적 상호작용이지만 수정된 집단 창의성 교육을 위한 수업 설계의 원리에 따라 정보의 타당성을 검토하는 과정이 추가되었다.

2. 각 기준에 맞는 과자를 선택하기 위해 어떠한 정보가 필요한지 모둠 친구들과 함께 이야기해 봅시다. 가능한 많은 정보를 제시합니다. 제시한 정보가 각 기준에 해당하는지 검토합니다.

기준 1에 맞는 과자를 선택하기 위해 필요한 정보 정보의 타당성 검토:
기준 2에 맞는 과자를 선택하기 위해 필요한 정보 정보의 타당성 검토:
기준 3에 맞는 과자를 선택하기 위해 필요한 정보 정보의 타당성 검토:

[그림 Ⅴ-35] 회고분석 후 수정된 2번 문항 최종 활동지

[그림 Ⅴ-36]에 제시된 3번 문항의 구체적인 활동지는 상호작용을 구체화하여 제시한 사례를 보여준다. 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에 해당하는 3번 문항의 경우, ‘이유의 타당성에 대한 논의를 하라’는 기존의 문구 대신 ‘해당 표현을 사용한 이유에 반대하는 의견과 찬성하는 의견을 제시하고 반대 의견과 찬성 의견이 타당한지 이야기 나누어 봅시다.’를 제시하였다. 이에 따라, 기존의 활동지([그림 Ⅴ-5] 참고) 역시 다음의 [그림 Ⅴ-36]과 같이 수정하였다.

3\. 2번에서 필요하다고 생각한 정보를 모든 과자에 대해서 모둠 친구들과 함께 구해봅시다. 구한 정보를 식, 그래프, 표 등 다양한 수학 표현을 이용하여 제시하고, 해당 표현을 사용한 이유를 말해봅시다. 해당 표현을 사용한 이유에 반대하는 의견과 찬성하는 의견을 제시하고 반대 의견과 찬성하는 의견이 타당한지 이야기 나누어 봅시다. 가장 적절하다고 생각되는 수학 표현을 이용하여 필요한 정보를 표현합니다. 예를 들어, Yeony의 기준1에 맞는 과자를 선택하는데 필요한 정보가 열량이라고 생각한다면, '필요한 정보 : (열량)'을 기재하고 모든 과자의 열량을 수집한 뒤 수집한 값들을 표나 그래프, 식으로 표현합니다.

(1) 필요한 정보 : (   )

수학 표현을 이용한 정보 제시 :   해당 표현에 대한 반대 의견 : 해당 표현에 대한 찬성 의견 : 반대 의견과 찬성 의견 중 더 타당한 의견과 그 이유 :

[그림 Ⅴ-36] 회고분석 후 수정된 3번 문항 최종 활동지

3.2. 회고분석 후 수정된 학생 역할분담

학생의 역할분담과 관련하여, 역할분담이 집단 창의성 발현에 긍정적인 효과를 가져옴을 확인하였다. 학생의 인지적 성향에 맞추어 역할분담이 잘 이루어진다면, 교사의 발문이 없더라도 역할 수행을 통해 상호작용을 이끌어나갈 수 있을 것이다. 수학적 모델링 활동의 초기(수학적으로 다양하게 표현하기) 단계에 역할분담이 잘 이루어지지 않았지만, 후기(수학적 모델 도출) 단계에 잘 이루어진 3조의 사례가 이를 보여준다. S34 역시 사후 인터뷰에서 "역할을 부여받아 책임감이 생겨 더욱 활동에 적극적이고 활발히 모둠 활동을 할 수 있었다."라는 의견을 주었다.

이때, 교수실험의 결과는 갈등유발자와 사고종합자 역할이 강조되어야 할 필요가 있음을 보여준다. 본문에서 확인할 수 있듯이, 사례별로 집단 내에 발생하는 상호작용 유형이 다르지만, 상호보완적 상호작용은 대부분의 집단에서 관찰되었다. 반면, 갈등 기반과 메타인지적 상호작용은 집단에 따라 선택적으로 관찰되었다. 이는 역할분담과도 연결되는데, 예를 들어, 5조의 경우 실세계 경험에 따른 단순화하기 단계에서 S52의 사고종합자 역할이 수행되지 않았다. 이로 인해 집단 내 메타인지적 상호작용이 유도되지 못하고 갈등 기반 상호작용에 머물면서 창의적 시너지가

확장되지 못하는 결과가 나타났다. 반면, S52가 사고종합자 역할을 수행한 경우 메타인지적 상호작용이 유도되고 창의적 시너지가 확장되는 결과가 나타났다. 또한, 2조의 경우 단순화하기 단계에서 갈등유발자와 사고종합자 모두 해당 역할을 하지 않고 사고제시자의 역할을 하였다. 예를 들어, [그림 V-20]의 경우 갈등유발자가 초기 사고를 제시하는 등 사고제시자의 역할을 자연스럽게 수행하고 있었다. 이와 같은 학생의 역할은 집단 내 상호작용을 상호보완적 상호작용에 한정 짓게 함으로써 창의적 시너지를 더 이상 확장하지 못하였다. 2조와 5조의 사례는 갈등 유발과 메타인지적 상호작용을 유도하기 위해서 갈등유발자와 사고종합자의 역할이 강조되어야 함을 의미한다. 사후 인터뷰에 응한 교사와 학생들 역시 대부분 갈등유발자와 사고종합자의 역할이 중요하다는 의견을 제시하였다. 어떤 역할이 가장 중요하다고 생각하는지 묻는 연구자의 질문에 대해, S34는 갈등 유발을 통해 더 다양한 의견이 제시될 수 있었다는 의견을 제시하였으며, S53과 교사는 다음과 같이 갈등유발을 통해 의견들의 타당성을 검토하는 기회를 가질 수 있었다는 의견을 제시하였다. 또한, S52는 조원들의 의견을 모두 확인한 뒤 갈등이 심해지지 않도록 도와주는 역할이 중요하므로 사고종합자의 역할이 가장 중요하다는 의견을 제시하였다.

S53: 갈등유발하기가 가장 중요하다고 생각합니다. 왜냐하면, 모둠활동의 특성 중 하나인 다양한 의견이 제시되기에, 모든 의견이 타당한 것은 아닐 것입니다. 그래서 이 의견들을 하나씩 파헤쳐서 장점, 단점, 조건에 맞는가? 왜? 라는 의견을 가장 많이 내는 역할이기에 중요하다고 생각합니다.

T: 갈등유발자가 가장 중요하다고 생각됩니다. 갈등유발자가 없다면, 일부 잘하는 학생들의 의견이 맹목적으로 수용될 수 있는데 갈등유발자의 역할로 인하여 그것이 논리적이든 비논리적이든 간에 갈등이 유발되었으며, 그 결과 학생들이 제시된 의견들에 대해 한 번쯤은

더 생각해보게 되어 맹목적인 수용은 없어진 것 같습니다.

교수실험과 인터뷰 결과를 종합하면, 집단 내 초기 아이디어가 제시된 이후 갈등유발을 통해 사고의 다양한 측면이 검토, 수집되면서 사고가 확장되고 사고종합을 통해 아이디어를 검토, 정리할 수 있다. 연구자가 작성한 현장 노트에는 ‘모둠 내 전체 학생이 역할에 상관없이 생각을 적극적으로 제시함.’이라고 작성되어 있는데, 이는 사고제시자를 별도로 지정하지 않더라도 집단 내 의견 수합이 자연스럽게 이루어질 수 있음을 보여준다. 이와 같은 분석 결과를 종합하여, 역할분담과 관련한 원리 PMG-C6은 다음과 같이 사고제시자를 제외한 갈등유발자와 사고종합자의 역할을 강조하는 방향으로 수정될 필요가 있다. 사고제시자로서의 역할은 특정 조원이 아닌 모든 조원에게 부여되는 역할이며, 사고의 확장을 위해 집단 내 갈등과 평가 등이 필요한 경우 갈등유발자와 사고종합자 역할을 하게 된다.

PMG6. 집단 구성원들에게 갈등유발자, 사고종합자의 역할을 각각 부여한다.

한편, 교수실험 과정에서, 문항에서 요구하는 메타인지적 상호작용을 유도하기 위해 모든 집단 구성원의 역할을 사고종합자로 변경하였다. 그 결과, 모든 집단에서 문항에서 요구하는 메타인지적 상호작용이 관찰되었으며, 그에 따른 창의적 시너지로 집단 유창성, 집단 융통성, 집단 정교성이 모두 발생하는 등 확장된 집단 창의성이 발생하였다. 예를 들어, 7번 문항에서 확인할 수 있듯이, 메타인지적 상호작용이 필요한 문항에서 모든 구성원에게 사고종합자 역할을 부여한 경우 메타인지적 상호작용과 그로 인한 창의적 시너지가 확산적으로 발생하였다. S31은 “서로의 의견에 대해 비판하면서 다양하고 새로운 장단점을 찾아볼 수 있었다.”는 평가를 하였다. S31의 인터뷰는 해당 활동이 집단 내 수학적 모델의 특징을 새로운 관점에서 확장적으로 공유할 수 있게 하는 집단 유창성과

집단 융통성을 가져왔음을 뒷받침한다. 이에 따라, 본 연구에서는 교수실험 과정에서 추측한 PMG-C7이 검증되었다고 판단하여, 학생의 역할분담 관련한 수업 설계의 원리인 PMG7로 제안한다.

PMG7. 문항에서 요구하는 상호작용 유형에 맞추어 학생들의 역할분담을 변경한다.

이에 따라, <표 Ⅳ-6>에 제시된 집단 구성을 위한 설문지[42]를 활용하되, 의사소통 방식 중 사고제시자 역할분담과 관련한 문항(모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람의 생각과 비슷한 생각을 떠올려 볼 수 있다.)은 제외한다.

3.3. 회고분석 후 수정된 교사지도안과 수업설계안

교사 역할과 관련하여 [그림 Ⅴ-17]과 [그림 Ⅴ-20]에서 교사는 학생들에게 논리적인 사고를 토대로 상호작용할 것을 강조하면서 메타인지적 상호작용을 유도하고자 하였다. 하지만 교사의 발문에 학생들은 반응하지 않았으며, [그림 Ⅴ-17]에서의 갈등 기반 상호작용과 [그림 Ⅴ-20]에서의 갈등 기반 상호작용은 메타인지적 상호작용으로 이어지지 못하였다. 교사는 상호작용을 유도하고자 하였으나 결과적으로 실패하게 된 것이다. 이를 보완하기 위해, 상호작용 자체에 대한 강조가 아닌 상호작용을 유도할 수 있는 역할의 수행을 강조하는 방향으로 상호작용을 유도할 것을 제안한다. 실제로, [그림 Ⅴ-23]에서 교사가 학생의 역할을 강조하자 해당 역할을 맡은 학생이 상호작용에 참여하는 모습을 보였다. 또한, T4, T5에서 교사가 학생들에게 역할을 부여하고 구체적인 활동의 방향을 제시하자 해당 역할을 학생들이 적극적으로 상호작용에 참여하는 모습을 보였다. 교사는 “갈등유발자는 제시된 의견에 대해 어떤 반대 의견을 갖고 있니?”와 같이 구체적인 역할 수행을 통해 상호작용을 이끌어내

42) 이를 <표 Ⅳ-6′>라고 한다.

는 안내자가 되어야 한다. 이와 같은 논의를 토대로, PMG-C1을 다음과 같이 수정하여 제시한다.

PMG1. 교사는 집단 내 자유롭고 적극적인 역할 수행을 유도하는 안내자 역할을 한다.

교사지도안과 관련하여, 후기 교수실험을 위한 [그림 V-9]의 교사지도안 구성에는 각 문항의 예상 상호작용, 수학적 모델링 단계, 예상 반응, 프롬프트, 추가 안내 및 교사 역할이 반영되었으며, 이 중 교사 역할에 대한 수업 설계의 원리인 PMG-C1이 PMG1로 수정되었다. PMG1을 반영하여, [그림 V-9]에 제시된 4번 문항에 대한 추가 안내 및 교사 역할[43]을 다음과 같이 수정할 수 있다(수정된 부분 밑줄 표시).

이 문항에서는 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용이 유도됩니다. <u>중요도 선정의 기준에 대한 반대 의견을 제시할 때에는 갈등유발자 학생, 다양한 의견 중 더 타당한 의견과 그 이유를 제시할 때에는 사고종합자 학생을 중심으로 상호작용을 이끌어갈 것을 강조</u>합니다.

다음으로, 수업설계안과 관련하여, 후기 교수실험을 위한 [그림 V-10]의 수업설계안 구성에는 예비설계 단계에서 추측된 수업 설계의 원리 여섯 가지가 반영되었다. 교수실험과 회고분석을 거쳐 수정된 원리를 적용한 결과는 [그림 V-37]과 같다.

43) [그림 V-9]에는 다음과 같이 제시되어 있다. 밑줄 친 부분에서 확인되듯이, 회고분석 전의 교사지도안에서는 상호작용을 강조하고 있다.

타당성은 꼭 여기에 쓰라고 제시한 것이 아니고, 상호작용 과정에서 평가를 유도하기 위함입니다. 꼭 쓰지 않아도 되며, <u>상호작용하면서 친구들이 제시한 이유를 서로서로 평가할 것을 강조합니다.</u> 예를 들어, 대처2를 먼저 제시한 학생에게, 다른 학생이 'Yeony가 제시한 3개 기준도 고려해야 하는 거 아니야?'라고 말하면서 이유의 타당성을 검토할 수 있습니다.

영역	통계	핵심 개념	자료의 정리와 해석	대상 학년	중학생 이상
수학적 모델링 과제	최고의 과자 찾기 문제([그림 V-3] 참고)				
학습 목표	· 실세계 상황 해결을 위해 통계 영역에서 수학적 모델을 모둠원들과 공동으로 구성하고 적용할 수 있다.				
수업 맥락	3~4명 모둠 구성, 공학적 도구 제공, 상호작용에 우호적인 분위기, 적극적인 역할 수행				

수업 전개	주된 상호작용	교수·학습 활동	활동지	학생의 주된 역할분담
환경 조성		1) 집단 활동의 환경 조성 - 상호작용에 우호적이고 긍정적인 분위기 조성 : 역할분담에 적극적이고 긍정적인 분위기 2) 집단 구성(<표 IV-6>의 설문조사 활용) - 집단 구성원의 인지적 다양성 고려, 역할분담		
도입 활동		3) 동기유발 및 관련 내용의 활동 안내 - 목표과제보다 간단한 상황의 과제 : 삼각 김밥을 구매하려고 한다. A 삼각 김밥은 50g이고 2500원이다. B 삼각 김밥은 70g이고 3000원이다. 여러분은 어떤 삼각 김밥을 구매하겠습니까? - 모둠별 문제해결과정에 대한 간략한 논의	도입용 활동지	
실세계 탐구	상호보완적 메타인지적	4) 문제 상황 이해(1번 문항) - 주어진 자료와 구하고자 하는 것에 대한 이해	활동지1	사고종합자
문제에 영향 미치는 요인 찾기		5) 과자 선택을 위해 필요한 정보 찾기(2번 문항) - 과자별로 열량, 가격, 각종 영양성분의 함량과 비율, 화학제품 포함여부 등의 정보가 필요함을 인식		
수학적으로 다양하게 표현하기	상호보완적 갈등 기반 메타인지적	6) 과자별로 필요한 정보 모두 찾기(3번 문항) - 2번에서 필요하다고 생각한 정보를 수학적 표현을 이용하여 모든 과자에 대해 구함 (예: E 과자의 경우 열량 200kcal, 나트륨 함량 200mg(10%), 화학제품 4개 첨가 등의 정보 도출)	활동지2	갈등유발자 사고종합자
단순화하기		7) 과자 선택의 기준이 되는 정보 선정하기(4번 문항) - 3번에서 구한 결과에 근거하여, 최고의 과자 선택의 기준이 되는 정보(열량, 가격 등)의 우선순위 결정 - 예> 콜레스테롤은 대부분 없으므로 우선순위가 낮고, 열량은 차이가 크므로 우선순위가 높을 수 있음 - 과제 맥락 고려 - 우선순위의 타당성 평가 : 비난이 아닌 비판 강조	활동지3	
요소 사이 관계 찾기		8) 정보의 우선순위에 따른 과자 순위 정리(5번 문항) - 우선순위 별로 가장 적절한 과자 선정	활동지3	
수학적 모델과 결과 도출, 적용	상호보완 메타 인지적	9) 모델 선택과 모델의 적절성 평가 안내(6번 문항) - 5번 결과를 종합하여 적절한 과자 선택 - 선택의 타당성 평가 : 비난이 아닌 비판 강조	활동지4	사고종합자
최종 산출물	메타인지적	10) 최종 모델 도출 및 산출물 작성(7번, 8번 문항) - 6번 문항에서 수집한 모델 평가하기 - 7번 문항의 답을 토대로 편지쓰기 - 과자 선택의 수학적인 이유 제시	활동지5	사고종합자

[그림 V-37] 회고분석 후 수정된 최종 수업설계안

PMG2

PMG1, PMG5

PMG3, PMG4

PMG6, PMG7

Ⅵ. 결론

본 연구는 개발 연구의 예비설계, 교수실험, 회고분석의 한 사이클을 거쳐 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업을 설계 및 실행하고자 하였다. 이와 같은 한 사이클은 미시적 순환과정을 구성한다. 이 장에서는 첫째, 지금까지의 연구결과를 요약하여 정리한다. 둘째, 연구문제에 대한 답을 제시하고, 후속 연구를 제언한다.

1. 요약

본 연구에서는 사회문화적 관점에서 집단 창의성과 수학적 모델링을 논의하고자 하였다. 창의성과 수학적 모델링에 대한 기존의 연구(박진형, 이경화, 2014; 백도현, 이경화, 2018; Amabile & Pillemer, 2012; Lesh & Doerr, 2012; Palsdottirr & Sriraman, 2017)는 대부분 개인의 인지적, 심리적인 측면에 초점을 맞춘다. 본 연구는 기존 연구의 초점을 사회문화적인 측면으로 확장하고자 한 것으로, 이는 창의성과 수학적 모델링 활동이 사회적 속성을 내포한다는 선행연구(Cobb, 1994; Sawyer, 2012; Vorhölter et al., 2017; Zhou & Luom 2012)를 토대로 한다.

구체적으로, 본 연구에서는 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업을 설계하고, 수학적 모델링 활동 시 발현되는 집단 창의성을 확인하고자 하였다. 연구 방법으로 개발 연구를 택하였으며, 예비설계, 교수실험, 회고분석의 단계를 수행하였다. 결과는 다음과 같다.

예비설계에서는 문헌연구를 바탕으로 다음과 같이 수업을 설계하고 자료를 개발하였다. 문헌연구를 통해 첫째, 집단 창의성의 발현 모델을 제시하였다([그림 Ⅱ-3] 참고). 집단 창의성 발현 모델에는 집단 창의성 발현에 영향 미치는 요인, 집단 창의성 발현 메커니즘으로서 상호작용과 창의적 시너지가 제시되었다. 둘째, 집단 창의성 교육을 위한 방안으로써 수학적 모델링 과정의 특징을 확인하였다. 이때, 각 단계에서 발생할 것으로 기대되는 주된 상호작용과 창의적 시너지의 유형을 확인하였다

(<표 Ⅱ-2> 참고). 셋째, 위의 두 가지 논의를 종합하여, 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리 여섯 가지를 도출하였다. 넷째, 여섯 가지 수업 설계의 원리를 기반으로 수업을 설계하고 자료를 개발하였다. 이와 같은 예비설계 과정과 결과는 본 연구의 연구문제에 대한 이론적 추측을 제시한다.

교수실험에서는 예비설계에서 설계한 수업과 개발한 자료를 이용하여 수업을 반복적으로 실행하고 분석하는 사례연구를 수행하였다. 이를 통해 첫째, 이론적으로 추측한 수학적 모델링의 각 단계에서 발생할 것으로 기대되는 상호작용과 창의적 시너지의 유형을 실제로 확인하였다. 이때, 이론적 분석을 통해 추측한 결과(<표 Ⅴ-4> 참고)가 나타나기도 하였으며, 추측과 다른 결과가 나타나기도 하였다. 또한, 수학적 모델링 단계와 모둠에 따라 상호작용과 창의적 시너지 유형이 다르게 나타났다(<표 Ⅴ-5>부터 <표 Ⅴ-14>까지 참고). 구체적으로, <표 Ⅴ-5>를 살펴보면, 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계에서는 예비설계에서 추측한 결과인 상호보완적 상호작용에 따른 집단 유창성 발생이 교수실험 시 그대로 관찰되었다. 하지만, 수학적으로 다양하게 표현하기(<표 Ⅴ-6>, <표 Ⅴ-7> 참고), 단순화하기(<표 Ⅴ-8>부터 <표 Ⅴ-11>까지 참고) 단계에서는 기대한 상호작용이 그대로 관찰된 사례도 있지만, 기대한 상호작용 중 일부가 발생하지 않은 사례도 있었다. 수학적 모델, 결과 도출 및 실세계 적용(<표 Ⅴ-12>, <표 Ⅴ-13> 참고)의 단계에서는 예비설계 단계에서 기대하지 않은 갈등 기반 상호작용이 추가로 관찰되기도 하였으며, 기대한 메타인지적 상호작용이 관찰되지 않기도 하였다. 마지막의 최종 모델 도출 단계(<표 Ⅴ-14> 참고)에서는 기대한 상호작용이 동일하게 관찰되었다. 이와 같은 상호작용의 결과는 창의적 시너지 발생에 대한 예비설계와 교수실험 결과와 연결된다. 교수실험에서 관찰된 창의적 시너지를 살펴보면, 예비설계에서 추측한 결과와 대부분 다른 결과가 나타났다(<표 Ⅴ-5>부터 <표 Ⅴ-14>까지 참고). 상호작용 유형의 차이에 따라 창의적 시너지 역시 차이가 나타난 것이다.

이때, 한 가지 유형의 상호작용에서도 창의적 시너지가 발생하고 집단

창의성이 발현될 수 있지만, 다양한 유형의 상호작용이 동시적, 순환적으로 발생할 때 창의적 시너지 역시 더욱 확장된 형태로 나타나며 확장된 집단 창의성을 발현으로 이어지게 됨을 알 수 있다(<표 Ⅴ-12>와 <표 Ⅴ-13> 참고). 나아가, 수학적으로 다양하게 표현하기 단계(<표 Ⅴ-6>, <표 Ⅴ-7> 참고)와 단순화하기 단계(<표 Ⅴ-8>부터 <표 Ⅴ-11>까지 참고)에서 확인할 수 있듯이, 메타인지적 상호작용으로부터 이어지는 창의적 시너지는 메타인지적 상호작용이 나타나지 않은 경우보다 더욱 확장된다. 이는 메타인지를 통한 관점의 전환이 집단 창의성 발현에 핵심임을 주장한 Glăveanu(2014)의 주장을 뒷받침하는 결과이기도 하다.

둘째, 서로 다른 모습의 집단 창의성이 발현된 대표 사례를 비교함으로써 서로 다른 모습의 집단 창의성이 발현된 원인을 확인하였다. 원인으로 교사와 학생의 역할 수행 및 집단 환경이 제시되었다. 상호작용을 유도하는 교사의 발문이 적절하지 않은 경우, 학생의 역할 수행이 미흡한 경우, 자유로운 사고 공유의 분위기가 조성되지 않은 경우, 그렇지 않은 집단과 집단 창의성 발현 모습에 차이가 나타났다. 셋째, 반복적인 교수실험을 통해 추측한 원리의 개선 방향을 확인하였다. 이때 개선 방향은 서로 다른 모습의 집단 창의성이 발현된 원인과 연결되었다. 예를 들어, 교사와 학생의 역할 수행이 원인이라고 한다면, 역할 수행을 보완하기 위한 방향으로 원리가 개선되었다. 이와 같은 교수실험 과정과 결과는 본 연구의 연구문제를 실제적 측면에서 검증하였다.

회고분석에서는 예비설계와 교수실험 결과를 반성함으로써 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리를 수정 및 보완하고, 수정된 원리에 맞추어 교수·학습 자료와 수업설계안을 제시하였다.

개발 연구를 따르는 본 연구는 신뢰성과 타당성 확보(우정호 외, 2014; Creswell, 2017)를 위해 연구 과정을 자세히 기술하고, 자료 수집과 분석을 다각화하였다. 연구 과정의 경우, 연구 방법과 결과를 자세히 기술함으로써 연구의 추적가능성을 높였다. 자료 수집은 연구 참여자인 학생과 교사를 대상으로 이루어졌으며, 연구자의 현장 노트를 비롯한 수업 관찰 자료, 학생 대상 설문지와 인터뷰 및 교사 대상 인터뷰 자료가 수집되었

다. 자료 분석은 다양하게 수집된 자료를 동료보고와 연구 참여자 검토 등을 통해 다각도로 분석하는 과정으로 이루어졌다.

연구결과를 종합한 본 연구의 의의는 다음과 같다. 첫째, 지금까지 창의성 교육 연구는 주로 영재 학생을 중심으로 이루어져 왔으며, 실제 학교 수학 수업에서 창의성을 촉진하는 수업과 관련하여 이루어진 연구는 극히 드물다(Luria et al., 2017). 이에 대해, Sternberg(2017)는 창의성 교육이 교육과정 안에 포함되어 학교 수업에서 이루어져야 한다고 주장한 바 있다. 이러한 측면에서, 일반 학생을 대상으로 학교수학에서 수학적 집단 창의성 교육을 위한 수업을 구성한 본 연구는, 일반 학생을 대상으로 한 수학적 창의성 함양에 대한 연구가 부족하다는 이경화(2016)의 지적을 보완하고, 수학영재 학생들의 집단 창의성 연구를 진행한 성지현, 이종희(2017a, 2017b)의 연구를 확장하였다는 의의를 지닌다.

둘째, 지금까지 집단 구성을 통한 수학적 모델링 활동을 논의한 선행연구에서는 집단이 아닌 개인의 인지적 발전 측면에 분석의 초점을 두었다. 개인의 인지적 특징을 분석하거나, 개인 창의성의 요소로 간주되는 독창성, 유창성, 유연성, 정교성에 초점을 맞추어 분석을 수행한 것이다(박진형, 2017; 이종희, 이아름, 2012). 반면, 본 연구에서는 개인이 아닌 집단에 초점을 두었다는 점에서 기존 연구들과 차별화된다.

셋째, Lesh & Doerr(2012)는 집단 구성을 통한 모델링 활동 시 여러 학생의 사고가 서로 영향을 주고받으며 집단 내 사고가 진화해 나가는 과정을 보면서, 사고가 진화해 나가는 과정과 사고의 진화과정을 지원할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요함을 주장하였다. 본 연구는 Lesh & Doerr(2012)의 제언을 따르는 것으로, 집단 구성을 통한 수학적 모델링 과정에서 나타나는 집단 내 사고의 진화과정을 제시하였다는 의의를 갖는다. 더불어, 사고의 진화과정을 지원하는 방법, 즉 수학 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업의 설계 방안을 제시했다는 의의를 갖는다. 특히, 수학적 모델링에서의 집단 창의성 논의는 그동안 수학적 창의성에 대한 논의(Leikin, 2009; Singer & Voica, 2017; Sriraman, 2005; Tan & Sriraman, 2017)가 개인의 수학적 창의성에 대한 논의에 머물렀

던 한계점을 극복했다는 점에서 차별화된 의의를 갖는다.

2. 결론 및 제언

본 연구에서는 ‘집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업의 설계 및 실행’을 위해 두 개의 연구문제를 설정하였다. 개발 연구를 수행한 결과를 토대로 이에 대한 답을 제시하면 다음과 같다.

연구문제1. 수학적 모델링 활동에서 집단 창의성 교육을 위한 수업 설계의 원리는 어떻게 되는가?

예비설계에서는 연구문제1에 대한 답으로 다음의 여섯 가지 ‘집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계의 원리’를 추측한다. 이들 여섯 가지 원리는 교사 역할(PMG-C1), 수학적 모델링 과제(PMG-C2), 활동지 구성(PMG-C3, C4), 수업 환경(PMG-C5), 학생 역할(PMG-C6)과 관련되며, 이후, 반복적인 교수실험과 회고분석에서의 검증을 통해 수정, 보완되었다. 이때, 교수실험과 회고분석의 결과물은 본 연구의 연구문제에 대한 답을 실제적 측면에서 검증한 결과물이 된다. 결과적으로, 이론적, 실제적 측면의 논의를 통해 완성된 최종 원리는 다음과 같다. 이들 일곱 가지 원리 역시 교사 역할(PMG1), 수학적 모델링 과제(PMG2), 활동지 구성(PMG3, 4), 수업 환경(PMG5), 학생 역할(PMG6, 7)과 관련된다.

PMG1. 교사는 집단 내 자유롭고 적극적인 역할 수행을 유도하는 안내자 역할을 한다.

PMG2. 수학적 모델링 과제로 실세계 상황만 고정된 채 모델 선택과 결과가 다양하게 제시될 수 있는 복합적인 과제를 제공한다.

PMG3. 활동지 문항별로 기대되는 상호작용을 구체적으로 안내한다.

PMG4. 모든 문항에서 메타인지적 상호작용을 안내한다.

PMG5. 브레인스토밍과 브레인 라이팅 등을 제도화하여, 다양한 사고에 대해 개방적이고 긍정적인 환경을 구성한다.

PMG6. 집단 구성원들에게 갈등유발자, 사고종합자의 역할을 각각 부여한다.

PMG7. 문항에서 요구하는 상호작용 유형에 맞추어 학생들의 역할분담을 변경한다.

위의 일곱 가지 원리 중, 특히 PMG3은 일반 학생의 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계 시 유의해야 할 원리이기도 하다. 이는 초기 교수실험의 검증과 자료 수정 과정이 수학적 모델링 과제와 활동지 문항의 복잡성이 완화되고 구체화되는 방향으로 나타난 것과 연결된다. 수학적 모델링 과제가 복합적인 과제로 제공되어야 하지만, 일반학급 학생들의 경우 복합적인 상황에 어려움을 느끼고 이로 인해 수학적 모델링 활동 자체를 꺼리기도 하였는데, 상황의 복잡성이 완화된 상태로 과제를 제공하는 것이 필요함을 보여준다. 연구문제1에 대한 답은 궁극적으로 본 연구에서 목표로 하는 '집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계'의 토대가 될 것이다.

위의 결과는 우정호 외(2014)가 언급하였듯이, 예비설계에서 추측한 일차적 국소적 교수 이론이 교수실험과 회고분석을 통해 세부적으로 정교화될 수 있음을 보여준다. 나아가 본 연구의 결과를 통해, 집단 창의성 교육을 위한 수업 설계의 원리를 개선할 수 있음을 보여준다.

연구문제2. 수학적 모델링의 각 단계에서 집단 창의성 발현을 위해 어떤 유형의 상호작용과 창의적 시너지가 발생하는가?

연구문제2에 대한 답으로 수학적 모델링의 각 단계에서 나타난 상호작용 유형과 그에 따른 창의적 시너지는 본문의 <표 Ⅴ-5>부터 <표 Ⅴ-14>에 제시된 바와 같다.[44] 앞에서 이미 언급하였듯이, 집단 창의성의

발현은 발생한 상호작용 유형과 창의적 시너지에 따라 다른 모습으로 나타난다.

본 연구에서는 연구결과를 토대로 다음과 같은 후속 연구 제언을 하고자 한다.

첫째, 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업의 설계와 실행, 특히, 발문과 관련한 교사교육 연구를 제안한다. 각 조의 집단 창의성 발현 사례는 교사의 발문이 학생들의 활동에 영향을 미친다는 사실을 보여준다. 본문에 제시된 교사의 발문 중 전체 학급을 대상으로 제시한 발문인 T1, T4, T5, T6, T7과 개별 집단을 대상으로 제시한 발문인 [그림 Ⅴ-19]와 같이 의도한 상호작용을 이끌어내는 데 성공한 사례도 있지만, 개별 집단을 대상으로 제시한 발문 중 [그림 Ⅴ-17], [그림 Ⅴ-20]과 같이 실패한 사례와 [그림 Ⅴ-23]과 같이 어느 정도의 개선은 있으나 의도한 바를 얻지 못한 사례도 있다. 이와 같은 여러 사례는 교사가 학생의 반응을 예측하고 상황과 의도에 맞는 발문을 제시할 수 있는 교사교육의 필요성(박만구, 김진호, 2006; 조누리, 백석윤, 2013; Hill, Ball, & Shilling, 2008; Pino-Fan, Godino, & Font, 2018; Sullivan, Clarke, & Clarke, 2016)과 연결된다. 즉, 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업에서 적절한 발문을 제공할 수 있는 교사교육이 필요한 것이다. 교사교육은 궁극적으로 본 연구에서 제안하는 수업을 할 수 있는 교사 역량의 강화, 나아가 수업의 확장으로 이어진다.

둘째, 집단 창의성의 수학적 모델링 지원 가능성에 대한 연구를 제안한다. 수학적 모델링 활동은 여러 가지 긍정적인 교육적 효과를 지니지만(Doerr & English, 2003; Middleton et al., 2003), 활동 자체의 어려움으로 인해 일반 학교 수학의 교수·학습 활동에 적극적으로 활용되지 못하고 있다. 특히, 수학적 모델링 과제가 지니는 개방성, 복잡성 등의 특

---

44) 연구 방법에서도 밝혔듯이, 후기 교수실험 단계의 연구방법은 사례 연구로서 이를 일반화하기에는 한계가 있다. 다시 말해, 본문의 표에서 제시하는 수학적 모델링 과정의 각 단계에서 나타난 상호작용 유형과 그에 따른 창의성 시너지는 본 연구에서 관찰한 특정 사례에 기반한 것으로 항상 이와 같은 효과를 보인다고 단언하기에는 어려움이 있음을 연구의 한계점으로 밝힌다.

징은 높은 인지적 수준을 요구하며(Blum & Ferri, 2009), 현실 상황을 이해, 해석 및 추론하고 문제해결 전략을 생각해내는 것과 같은 수학적 역량의 뒷받침을 요구한다(Niss, 2003). 여러 선행연구(박진형, 2017; Blomhøj & Jensen, 2007; Galbraith & Stillman, 2006)에서는 수학적 모델링 과제가 요구하는 이러한 특징으로 인해 많은 학생이 수학적 모델링 활동을 어려워함을 제시한다. 수학적 모델링 연구가 일반 학급이 아닌 주로 영재 학생들을 대상으로 수행되었다는 이경화(2016)의 주장 역시 수학적 모델링 활동의 어려움을 보여준다.

수학적 모델링 활동이 갖는 이와 같은 어려움은 일반 학급의 일상 수업에서 수학적 모델링 활동을 지원할 수 있는 방안에 대한 논의를 필요로 한다(정혜윤 외, 2018). 최근 수학적 모델링에 대한 연구(손홍찬, 류희찬, 2005, 2007; Blomhøj & Kjeldsen, 2006; Blum & Ferri, 2009; Van Dooren, De Bock, & Verschaffel, 2013)가 수학적 모델링의 특징과 교육적 효과에 대한 논의로부터 수학적 모델링 활동을 지원하기 위한 방안에 대한 논의로 확장되어 가고 있는 측면 역시 수학적 모델링 활동 지원 방안에 대한 논의의 필요성을 보여준다. 구체적으로, Vorhölter, Krüger, & Wendt(2017)은 수학적 모델링 활동을 성공적으로 수행하기 위해서는 학생들이 자신의 생각과 역량을 공유하고 과제 해결 전략을 함께 계획하는 것이 필요하다고 주장하였다. Vorhölter et al(2017)의 이러한 관점은 수학적 모델링 활동이 주로 집단에 의해 수행된다는 사실에 주목한 것으로 보인다.

본 연구에서도 교수실험 과정에서 발현된 집단 창의성이 수학적 모델링 활동을 지원하는 방향으로 작용함을 확인할 수 있었다. 간략히 제시하자면, 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계에서는 문제에 영향 미치는 다양한 요인을 확인할 수 있는 방향으로, 수학적으로 다양하게 표현하기 단계에서는 다양한 표현 중에서 주어진 상황과 표현의 의미를 종합적으로 고려하여 표현을 선택하는 방향으로, 단순화하기와 요소 사이 관계 찾기 단계에서는 단순화를 위한 다양한 기준을 확인하고 타당성 있는 주요 요인 선정 기준에 따라 가장 적절한 주요 요인을 선정하는 방향으로,

수학적 모델, 결과 도출 및 실생활 적용 단계에서는 수학적 모델의 동질성을 확인한 뒤 집단 내 공유 모델을 확장하는 방향으로, 최종 모델 도출 단계에서는 주어진 상황에 가장 적절한 수학적 모델을 최종 선택하는 방향으로 수학적 모델링 활동을 지원함을 확인하였다. 이는 수학적 모델링 활동으로부터 집단 창의성이 발현될 수 있지만, 반대로 발현된 집단 창의성이 수학적 모델링 활동을 지원할 수 있음을 보여준다. 즉, 수학적 모델링과 집단 창의성의 상호보완성을 보여준다.

본 연구에서는 집단 창의성이 수학적 모델링 활동을 지원할 수 있다는 사실을 확인하였음에도, 수학적 모델링의 각 단계에서 발현된 집단 창의성의 수학적 모델링 활동 지원 방향을 자세히 밝히지 않았다는 한계점을 갖는다. 특히, 집단 창의성 발현과정에서 발생한 창의적 시너지가 수학적 모델링 활동을 어떻게 지원할 수 있는지에 대한 구체적인 논의를 진행하지 못하였다. 이에 따라, 집단 창의성의 수학적 모델링 활동 지원 가능성을 후속 연구의 주제로 제안한다.

본 연구는 수학적 모델링 활동과 수학적 창의성에 내포된 사회문화적 특성을 토대로, 수학적 모델링 활동을 통해 수학적 집단 창의성 교육을 할 수 있다는 논의를 진행하고 그 결과물로서 집단 창의성 교육을 위한 수학적 모델링 수업 설계와 각 단계에서 집단 창의성 발현 모습을 제시하였다. 다만, 본 연구는 개발 연구의 한 사이클을 수행한 미시적 순환과정에 해당할 뿐이다. 정영옥(2005)과 우정호 외(2014, pp. 79-81)가 강조하듯이, 미시적 순환과정의 반복을 통한 거시적 순환과정이 완성될 때 일련의 국소적 교수 이론이 완성된다고 할 수 있다. 향후 본 연구에서 제시하는 결과와 시사점을 토대로 미시적 순환과정의 반복적인 발생, 나아가 거시적 순환과정의 발생이 이어져 집단 창의성 교육을 위한 수업 설계의 원리가 더 나은 방향으로 개선, 정립되기를 기대한다. 나아가 정립된 원리를 토대로, 일반 학급에서 집단 창의성을 이용한 수학적 모델링 수업이 정착되고 확장되기를 기대한다.

참 고 문 헌

강영심(2000). 사회문화적 구성주의가 정신지체 아동 교육에 주는 시사점. **특수교육학연구, 34**(3), 69-87.

강옥기(2010). 수학적 모델링의 정교화 과정 연구. **수학교육학연구, 20**(1). 73-84.

강정찬(2015). 창의・융합 교육을 위한 수업설계원리 개발. **교육방법연구, 27**(3), 275-305.

강홍숙, 강만철(2006). 협동학습의 효과에 관한 메타분석. **한국아동교육학회, 15**(1), 69-82.

교육부(2015). **수학과 교육과정**. 교육부 고시 제2015-74호 [별책8]. 서울: 저자.

김명숙(2001). 통합적 창의성 모형의 구성. **교육심리연구, 15**(3), 5-27.

김민경(2010). **수학적 모델링: 초등수학 중심으로**. 서울: 교우사

김민경, 홍지연, 김은경(2009). 수학적 모델링 사례 분석을 통한 초등 수학에서의 지도 방안 연구. **수학교육, 48**(4), 365-385.

김민경, 홍지연, 김혜원(2010). 수학적 모델링 적용을 위한 문제상황 개발 및 적용. **수학교육, 49**(3), 313-328.

김병섭(2010). **편견과 오류 줄이기: 조사연구의 논리와 기법**. 서울: 법문사.

김부미(2018). 모바일, 온/오프라인 연계수학 학습에서 집단창의성 발현을 위한 과제 특성. **수학교육학논총, 52**, 159-161.

김부미(2019). 집단창의성 발현을 위한 수학 학습 어플리케이션 개발. **수학교육학논총, 54**, 55-56.

김부윤, 이진성(2007). 수학적 창의성에 대한 관점 연구. **수학교육, 46**(3), 293-302.

김상화, 방정숙(2010). 담화 중심 수학적 의사소통 수업의 분석. **한국초등수학교육학회지, 14**(3), 523-545.

김선연(2017). 집단 협력학습에서 시너지의 심층적 개념 분석. **교육공학

연구, 33(1), 75-104.
김선희(2005). 문제 중심 학습의 방법으로서 수학적 모델링에 대한 고찰. **학교수학, 7**(3), 303-318.
김선희, 김기연(2004). 수학적 모델링 과정에 포함된 추론의 유형 및 역할 분석. **학교수학, 6**(3), 283-299.
김선희, 박경미, 이환철(2015). 수학과 교육과정에 반영된 핵심역량의 국제적 동향 탐색. **수학교육, 54**(1), 65-81.
김수미(1993). **중등학교에서의 수학적 모델링에 관한 고찰**. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
김영채(2007). 집단창의의 가능성과 한계. **사고개발, 3**(1), 1-26.
김은혜, 박만구(2011). 수학 영재교육 대상 학생과 일반 학생의 개방형 문제해결 전략 및 행동 특성 분석. **한국초등수학교육학회지, 15**(1), 19-38.
김주연(2018). 스토리 드라마: 사회문화적 구성주의 읽기 교육. **한국초등교육, 27**(4), 41-62.
김현진, 설현도(2014). 개인창의성과 집단창의성의 관계에서 통합능력과 지식공유의 매개효과. **지식경영연구, 15**(4), 223-247.
박만구, 김진호(2006). 학습자 중심의 수학 수업에서 교사의 발문 분석. **한국학교수학회논문집, 9**(4), 425-457.
박성선(2001). 컴퓨터를 활용한 수학학습에 대한 사회문화적 관점. **초등수학교육, 5**(1), 13-20.
박슬히, 신재홍, 이수진(2014). 중학생의 수학적 모델링 정교화 과정에 관한 사례 연구. **한국학교수학회논문집, 17**(4), 657-677.
박진형(2017). 수학적 모델링 활동에 의한 창의적 사고 촉진 사례 연구. **수학교육학연구, 27**(1), 69-88.
박진형, 이경화(2014). 모델링 활동을 통한 메타수준 학습에 대한 연구. **학교수학, 16**(3), 409-444.
방정숙, 김민경(2016). 교원양성프로그램에서 ICT활용 교수학습과정안 개발 연구: 초등수학교과를 중심으로. **컴퓨터교육학회 논문집,**

8(5), 1-15.

백도현, 이경화(2018). 수학적 모델링에서 가추적 사고의 역할과 의의. **수학교육학연구, 28**(2), 221-240.

서지희, 윤종국, 이광호(2013). 중학교 3 학년 수학 영재 학생들을 위한 수학적 모델링 교수·학습 자료의 개발 및 적용. **학교수학, 15**(4), 785-799.

성지현, 이종희(2017a). 수학영재의 집단창의성 발현 모델 개발. **수학교육학연구, 27**(3), 557-580.

성지현, 이종희(2017b). 수학영재의 집단창의성 발현에서 나타나는 산출 및 과정 손실 분석. **한국초등수학교육학회지, 21**(3), 505-530.

손홍찬, 류희찬(2005). 함수 지도와 수학적 모델링 활동에서 스프레드시트의 활용. **수학교육학연구, 15**(4), 505-522.

손홍찬, 류희찬(2007). 수학적 모델링에서 스프레드시트 환경이 수학적 모델의 정교화 과정에 미치는 역할. **학교수학, 9**(4), 467-486.

송인섭, 김혜숙(1999). 창의성 개념정립을 위한 탐색적 연구: 암시적 창의성 이론을 중심으로. **교육심리연구, 13**(3), 93-117.

신은주, 이종희(2004a). 중학생들의 모델링 활동에서 메타인지 분석에 관한 사례연구. **수학교육학연구, 14**(4), 403-419.

신은주, 이종희(2004b). 모델링 과정에서 지각적, 인지적, 메타인지적 활동의 상호작용에 관한 사례연구. **학교수학, 6**(2), 153-179.

신현성(2007). 모델링학습에서 학생들의 수학적 의미 변환에 대한 분석. **교과교육학연구, 1**1, 419-430.

심영숙, 김찬종, 최승언, 김희백, 유준희, 박현주, 김혜영, 박경미, 장신호(2015). 연수 모델의 사회적 구성과정에서 나타나는 소집단 활동 특징 탐색. **한국과학교육학회지, 35**(2), 217-229.

오영열, 오태욱(2009). 동료 피드백을 활용한 수학적 의사소통이 수학 학습에 미치는 영향. **수학교육논문집, 23**(2), 327-347.

왕치현, 문성란, 이현열(2015). 창의성 개념의 심리학적 고찰을 통한 창의성교육 연구. **독어교육, 63**(63), 279-302.

우정호, 정영옥, 박경미, 이경화, 김남희, 나귀수, 임재훈 (2014). **수학교육학 연구방법론**. 서울 : 경문사.

유경훈(2015). 초중고 학생들의 개인창의성과 집단창의성 및 환경변인의 집단별 영향력 비교연구. **영재와 영재교육, 14**(1), 201-222.

유현주(2000). 수학적 의사소통과 수학의 교수, 학습. **학교수학, 2**(1), 53-72.

유홍규, 윤종국(2017). 영재교육을 위한 수학적 모델링 프로그램의 개발 및 적용: 보로노이 다이어그램과 들로네 삼각분할을 중심으로. **수학교육논문집, 31**(3), 257-277.

이경화(2015). **수학적 창의성**. 서울: 경문사.

이경화(2016). 현실적 수학교육 이론의 재음미: 수학적 창의성 교육의 관점에서. **수학교육학연구, 26**(1), 47-62.

이대현(2012). 수학적 창의성의 요소와 창의성 개발을 위한 수업 모델 탐색. **한국초등수학교육학회지, 16**(1), 39-61.

이신영, 김찬종, 최승언, 유준희, 박현주, 강은희, 김희백(2012). 소집단 상호작용에 따른 심장 내 혈액 흐름에 대한 소집단 모델 발달 유형과 추론 과정 탐색. **한국과학교육학회지, 32**(5), 805-822.

이은화, 조순옥, 조화연, 강숙현, 김순환(1998). Vygotsky의 사회문화적 관점에서 본 유아의 사회극놀이와 발달. **교육과학연구, 27**, 5-28.

이종욱(2002). 사회문화적 체제와 역동적 수학 평가. **수학교육논문집, 14**, 135-150.

이종희, 이아름(2012). 중학교 학생들의 수학적 모델링 과정 분석: 사고양식을 중심으로. **교과교육학연구, 16**(3), 815-838.

전평국, 이진아(2002). 수학적 문제 중심 학습에서의 사회적 상호작용 분석. **수학교육논문집, 13**, 409-424.

정영옥(2005). 교과과정 개발을 위한 기초로서의 개발연구에 대한 고찰. **수학교육학연구, 15**(3), 353 - 374.

정혜윤, 이경화(2018). 수학적 모델링에서 집단창의성 발현사례. **수학교**

육, 57(4), 371-391.

정혜윤, 이경화(2019a). 집단창의성 발현을 위한 수학적 모델링 수업의 설계. **수학교육학연구, 29**(1), 157-188.

정혜윤, 이경화(2019b). 수학적 모델링 활동에서의 집단 창의성 발현 사례 연구: 수학적 표현과 모델 도출 활동을 중심으로. **수학교육학연구, 29**(2), 251-282.

정혜윤, 이경화(2019c). 중학교 3학년 학생의 일상 수업에서 집단 창의성 발현을 통한 수학적 모델링 활동 지원 사례 연구. **한국학교수학회논문집, 22**(2),

정혜윤, 이경화, 백도현, 정진호, 임경석(2018). 수학적 모델링 관점에 의한 <수학과제 탐구> 과목용 과제의 설계. **학교수학, 20**(1), 149-169.

조누리, 백석윤(2013). 수학적 발문에 대한 초등학교 예비교사와 현직교사의 PCK 비교. **한국초등수학교육학회지, 17**(1), 39-65.

조무정, 진석언(2016). 초등학교 과학 영재학생의 집단 창의성 발현과정 경험에 대한 현상학적 연구. **창의력교육연구, 16**(2), 35-59.

조미경, 김민경(2016). 비구조화된 수학문제의 해결에서 교사의 스캐폴딩 제공에 따른 학생 간 상호작용. **초등교육연구, 29**(4), 227-255.

조정수(1999). 브가츠키(Vygotsky)의 사회-문화적 인지발달 이론과 수학적 의견교환. **초등수학교육, 3**(2), 89-101.

최경아(2017). 수학 교과 역량 관점에서의 수학적 모델링에 관한 선행연구 탐색. **한국학교수학회논문집, 20**(2), 187-210.

최병훈, 방정숙(2012). 수학적 창의성 교육에 관한 연구 동향 분석. **영재교육연구, 22**(1), 197-215.

한혜숙(2013). STEAM 교수-학습 프로그램의 개발 동향 분석 및 수학교과 중심의 STEAM 교수-학습 프로그램의 개발. **수학교육논문집, 27**(4), 523-545.

홍옥수(2016). **과학 학급 창의성의 개념화 및 척도 개발**. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.

홍옥수, 송진웅(2015). 우리나라 과학 교육과정에서 나타난 ‘창의성’의 의미 분석 연구: 5차 교육과정부터 2009 개정 교육과정을 중심으로. **교육연구와 실천, 81**, 121-140.

황혜정(2007). 수학적 모델링의 이해. **학교수학, 9**(1), 65-97.

황혜정, 나귀수, 최승현, 박경미, 임재훈, 서동엽(2013). **수학교육학신론**. 서울: 문음사.

황혜정, 민아람(2018). 2007년 이후 국내 논문 결과에 근거한 수학적 모델링 탐색. **수학교육논문집, 32**(2), 225-244.

Amabile, T. M., & Pillemer, J. (2012). Perspectives on the social psychology of creativity. *Journal of Creative Behavior, 46*(1), 3-15.

Artzt, A. F., & Armour-Thomas, E. (1992). Development of a cognitive-metacognitive framework for protocol analysis of mathematical problem solving in small group. *Cognition and Instruction, 9*(2), 137-175.

Ärlebäck, J. B., Doerr, H. M., & O'Neil, A. H. (2013). A modeling perspective on interpreting rates of change in context. *Mathematical Thinking and Learning, 15*(4), 314-336.

Baer, J. (1998). The case for domain specificity of creativity. *Creativity Research Journal, 11*(2), 173-177.

Baer, J. (2010). Is creativity domain specific? In J. C. Kaufman & R. J. Sternberg (Eds.). *The Cambridge handbook of creativity* (pp. 321-341). New York: Cambridge University Press.

Barbosa, J. C. (2006). Mathematical modelling in classroom: A socio-critical and discursive perspective. *ZDM, 38*(3), 293-301.

Baruah, J., & Paulus, P. B. (2009). Enhancing group creativity: The search for synergy. *Research on Managing Groups and Teams, 12*, 29-56.

Beghetto, R. A. (2016). Creative learning: A fresh look. *Journal of*

Cognitive Education and Psychology, 15(1), 1-18.

Beghetto, R. A., & Kaufman, J. C. (2007). Toward a broader conception of creativity: A case for "mini-c" creativity. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, 1*(2), 73-79.

Beghetto, R. A., & Kaufman, J. C. (2014). 교실에서의 창의성 개념 확대. 교실에서의 창의성 교육. R. A. Beghetto, & J. C. Kaufman 편저, **교실에서의 창의성 교육** (pp. 287-208) (이경화, 김명숙, 김정희, 김혜진, 박숙희, 성은현, 윤초희, 이명숙, 최병연, 태진미 역). 서울: 학지사. (원저 2010년 출판).

Beghetto R. A., & Schreiber J. B. (2017) Creativity in doubt: Toward understanding what drives creativity in learning. In R. Leikin, & B. Sriraman (Eds.), *Creativity and giftedness* (pp. 147-162). Switzerland: Springer.

Bissola, R., & Imperatorini, B. (2011). Organizing individual and collective creativity: Flying in the face of creativity clichés. *Creativity and Innovation Management, 20*(2), 77-89.

Blomhøj, M. (2011). Modelling competency: Teaching, learning and assessing competencies - Overview. In G. Kaiser, W. Blum, R. B. Ferri, & G. Stillman (Eds.). *Trends in teaching and learning of mathematical modelling* (pp. 343-347). Dordrecht: Springer.

Blomhøj, M., & Jensen, T. H. (2007). What's all the fuss about competencies?. In W. Blum, P. L. Galbraith, & M. Niss (Eds.), *Modelling and applications in mathematics education* (pp. 45-56). Boston, MA. : Springer.

Blomhøj, M., & Kjeldsen, T. H. (2006). Teaching mathematical modelling through project work. *ZDM, 38*(2), 163-177.

Blomhøj, M., & Kjeldsen, T. H. (2013). Students' mathematical learning in modelling activities. In G. A. Stillman, G. Kaiser, W. Blum, & J. P. Brown (Eds.), *Teaching mathematical modelling: Connecting to research and practice* (pp. 141-152). Dordrecht: Springer.

Blum, W., & Ferri, R. B. (2009). Mathematical modelling: Can it be taught and learnt? *Journal of Mathematical Modelling and Application, 1*(1), 45-58.

Brown, J., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher, 18*(1), 32-42.

Carnevale, P. J., & Probst, T. M. (1998). Social values and social conflicts in creative problem solving and categorization. *Journal of Personality and Social Psychology, 74*(5), 1300-1309.

Chalmers, C. (2009). Group metacognition during mathematical problem solving. *In proceedings of MERGA 32 conference crossing divides*. Wellingon, New Zealand.

Chamberlin, S. A., & Moon, S. M. (2005). Model-eliciting activities as a tool to develop and identify creatively gifted mathematicians. *The Journal of Gifted Education, 17*(1), 37-47.

Chan, C. M. E. (2008). The use of mathematical modeling tasks to develop creativity, In E. Veikova, & A. Andzans (Eds.), *Promoting creativity for all students in mathematics education* (pp. 207-216). Bulgaria: University of Rousse.

Chiu, M. M. (2008). Effects of argumentation on group micro-creativity: Statistical discourse analyses of algebra students' collaborative problem solving. *Contemporary Educational Psychology, 33*, 382-402.

Choi, H. S., & Thompson, L. (2005). Old wine in a new bottle: Impact of membership change on group creativity.

Organizational Behavior and human decision processes, 98(2), 121-132.
Climer, A. E. (2016). *The Development of the Creative Synergy Scale*. Doctoral dissertation, Antioch University.
Cobb, P. (1994). Where is the mind? Constructivist and sociocultural perspectives on mathematical development. *Educational Research, 23*(7), 13-20.
Cobb, P. (2002). Modeling, symbolizing, and tool use in statistical data analysis. In K. Gravemeijer, R. Lehrer, B. Oers, & L. Verschaffel (Eds.), *Symbolizing, modeling, and tool use in mathematics education* (pp. 171-195). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
Cobb, P., & Yackel, E. (1996). Constructivist, emergent, and sociocultural perspectives in the context of developmental research. *Educational Psychologist, 31(3-4), 175-190.*
Cobb, P., Yackel, E., & Wood, T. (1992). A constructivist alternative to the representational view of mind in mathematics education. *Journal for Research in Mathematics Education, 23*, 2-33.
Common Core State Standards Initiative (CCSSI). (2010). *Common Core State Standards for Mathematics(CCSSM)*. Washington, DC: National Governors Association Center for Best Practices and the Council of Chief State School Officers.
Creswell, J. W. (2010). **질적 연구방법론: 다섯 가지 접근** (조홍식, 정선욱, 김진숙, 권지성 역), 서울: 학지사. (원저 2007년 출판).
Creswell, J. W. (2017). **연구방법: 질적, 양적 혼합적 연구의 설계** (정종진, 김영숙, 성용구, 성장환, 류성림, 박판우, 유승희, 임남숙, 임청환, 허재복 역), 서울: 시그마프레스. (원저 2014년 출판).
Csikszentmihalyi, M. (1999). Implications of a systems perspective for the study of creativity. In R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of*

creativity (pp. 313-335). Cambridge University Press.

Csikszentmihalyi, M., & Sawyer, K. (1995). Creative insight : The social dimension of a solitary moment. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 329-363). Cambridge, MA: MIT Press.

Davis, G. A., Rimm, S. B., & Siegle, D. (2011). *Education of the gifted and talented.* New Jersey: Pearson.

Doerr, H. M. (2007). What knowledge do teachers need for teaching mathematics through applications and modelling?. In W. Blum, P. L. Galbraith, H-W. Henn, & M. Niss (Eds.), *Modelling and applications in mathematics education* (pp. 69-78). New York: Springer.

Doerr, H. M., & English, L. D. (2003). A modeling perspective on students' mathematical reasoning about data. *Journal for Research in Mathematics Education, 34*(2), 110-136.

English, L. D. (2006). Mathematical modeling in the primary school. *Educational Studies in Mathematics, 63*(3), 303-323.

English, L. D., & Sriraman, B. (2009). Problem Solving for the 21st Century. In B. Sriraman & L. English (Eds), *Theories of Mathematics Education* (pp. 263-301). Berlin: Springer.

English, L. D., & Watters, J. J. (2004). Mathematical modelling with young children. *In proceedings of the 28th conference of the International Group for the Psychology Mathematics Education, 2* (pp. 335-345). Woodhead Publishing.

Ernest, P. (2010). Reflections on theories of learning. In B. Sriraman, & L. English (Eds.), *Theories of Mathematics Education* (pp. 39-47). Berlin: Springer.

Ferri, R. B., & Lesh, R. (2013). Should interpretation systems be considered to be models if they only function implicity? In G.

A. Stillman, G. Kaiser, W. Blum, & J. P. Brown (Eds.), *Teaching mathematical modelling: Connecting to research and practice* (pp. 57-66). Dordrecht: Springer.

Freudenthal, H. (2008). **프로이덴탈의 수학교육론**. (우정호, 정은실, 박교식, 유현주, 정영옥, 이경화 역), 서울: 경문사. (원저 1991년 출판).

Gagné, R. M., Wager, W. W., Golas, K. C., & Keller, J. M. (2007). **수업설계의 원리** (송상호, 박인우, 엄우용, 이상수 역), 서울: 아카데미프레스. (원저 2005년 출판).

Galbraith, P., & Stillman, G. (2006). A framework for identifying student blockages during transitions in the modelling process. *ZDM, 38*(2), 143-162.

Glăveanu, V. P. (2011). How are we creative together? Comparing sociocognitive and sociocultural answers. *Theory & Psychology, 21*(4), 473-492.

Glăveanu, V. P. (2014). Creativity as a sociocultural act. *The Journal of Creative Behavior, 49*(3), 165-180.

Glăveanu, V. P. (2018). Creativity in perspective: A sociocultural and critical account. *Journal of Constructivist Psychology, 31*(2), 118-129.

Grant, R. M. (1996). Prospering in dynamically-competitive environments: Organizational capability as knowledge integration. (1996). *Organization Science, 7*(4), 375-387.

Gravemeijer K. P. E. (1998) Developmental research as a research method. In A. Sierpinska, & J. Kilpatrick (Eds.), *Mathematics education as a research domain: A search for identity* (pp. 277-295). Dordrecht: Springer.

Gravemeijer, K. (1999). How emergent models may foster the constitution of formal mathematics. *Mathematical thinking and* *learning, 1*(2), 155-177.

Gravemeijer, K. (2002). Preamble: From models to modeling. In K. Gravemijer, R. Lehrer, B. Oers, & L. Verschaffel (Eds.), *Symbolizing, Modeling and Tool Use in Mathematics Education* (pp. 7-22).

Gravemeijer, K., Cobb, P., Bowers, J., & Whitenack, J. (2012). Symbolizing, modeling, and instructional design. In P. Cobb, E. Yackel, & K. McClain (Eds.), *Symbolizing and communicating in mathematics classrooms: Perspectives on discourse, tools, and instruction design* (pp. 225-273). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

Hennessey, B. A., & Amabile, T. M. (1988). The conditions of creativity. In R. J. Sterngerg (Ed.), *The nature of creativity: Contemporary psychological perspectives* (pp. 11-38). New York: Cambridge University Press.

Henningsen, M., & Stein, M. K. (1997). Mathematical tasks and student cognition: Classroom-based factors that support and inhibit high-level mathematical thinking and reasoning. *Journal of Research in Mathematics Education, 28*(5), 524-549.

Hersh, R., & John-Steiner, V. (2017) The origin of insight in mathematics. In R. Leikin, A. Berman & B. Koichu (Eds.), *Creativity in mathematics and the education of gifted students* (pp. 135-146). Rotterdam: Sense Publisher.

Hill, H. C., Ball, D. L., & Schilling, S. G. (2008). Unpacking pedagogical content knowledge: Conceptualizing and measuring teachers' topic specific knowledge of students. *Journal for Research in Mathematics Education, 39*(4), 372-400.

Hoever, I. J., van Knippenberg, D., van Ginkel, W. P., & Barkema, H.

G. (2012). Fostering team creativity: Perspective taking as key to unlocking diversity's potential. *Journal of Applied Psychology, 97*(5), 982-996.

Hogan, K. (1999). Sociocognitive roles in science group discourse. International *Journal of Science Education, 21*(8), 855-882.

Hwang, Y. (2018). Sociocultural approach toward creativity: When Vygotsky considers mediating 'C' creativity. *The Journal of Creativity Education, 18*(3), 43-63.

James, K. (1995). Goal conflict and originality of thinking. *Creativity Research Journal, 8*(3), 285-590.

James, M. A. (2015). Managing the classroom for creativity. *Creative Education, 6*(10), 1032-1043.

Jeffrey, R., & Craft, A. (2001). The universalization of creativity. In A. Craft, B. Jeffrey, & M. Leibling (Eds.), *Creativity in education* (pp. 1-13). London: Continuum International Publishing Group.

Jehn, K. A. (1997). A qualitative analysis of conflict types and dimensions in organizational groups. *Administrative Science Quarterly, 42*(3), 530-557.

Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1990). Learning together and alone: Overview and meta-analysis. *Asia Pacific Journal of Education. 22*(1), 95-105.

Kaiser, G. (2007). Modelling and modelling competencies in school. In C. Haines, P. Galbraith, W. Blum, & S. Khan, (Eds.), *Mathematical modelling (ICTMA 12): Education, engineering and economics* (pp. 110-119). Chichester: Horwood Publishing.

Kaiser, G. (2017). The teaching and learning of mathematical modeling. In J. Cai (Ed.), *Compendium for research in mathematics education* (pp. 267-291). Reston, VA: NCTM.

Kaiser, G., & Stender, P. (2013). Complex modelling problems in co-operative, self-directed learning environment. In G. A. Stillman, G. Kaiser, W. Blum, & J. P. Brown (Eds.), *Teaching mathematical modelling: Connecting to research and practice* (pp. 277-293). Springer.

Kaufman, J. C., & Beghetto, R. A. (2009). Beyond big and little: The four C model of creativity. *Review of General Psychology, 13*, 1-12.

Kim, J. (2017). Investigating on Bandura's modeling viewing processes and Vygotskian approaches to design artistic play. *Journal of Art Education, 49*, 255-284.

Kim, S. H., & Song, K. S. (2012). The effects of thinking style based cooperative learning on group creativity. *Creative Education, 3*, 20-24.

Kurtzberg, T., & Amabile, T. M. (2000-2001). From Guilford to creative synergy: Opening the black box of team-level creativity. *Creativity Research Journal, 13*(3-4), 285-294.

Leadbeater, C. (2008). W*e think: Mass innovation, not mass production*. London: Aitken Alexander Associates.

Leikin, R. (2009). Exploring mathematical creativity using multiple solution tasks. In R. Leikin, A. Berman & B. Koichu (Eds.), *Creativity in mathematics and the education of gifted students*, (pp. 129-145). Rotterdam: Sense Publisher.

Leikin, R., & Pitta-Pantazi, D. (2013). Creativity and mathematcis education: The state of the art. *ZDM, 45*(2), 159-166.

Lesh, R., & Caylor, B. (2007). Introduction to the special issue: Modeling as application versus modeling as a way to create mathematics. *International Journal of computers for mathematical Learning, 12*(3), 173-194.

Lesh, R., Cramer, K., Doerr, H., Post, T., & Zawojewski, J. (2003). Model development sequences. In R. Lesh, & H. Doerr (Eds.), *Beyond constructivism: Models and modeling perspectives on mathematics teaching, learning, and problem solving* (pp. 35-58). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Lesh, R., & Doerr, H. M. (2003). Foundations of a models and modeling perspective on mathematics teaching, learning, and problem solving. In Lesh. R. & Doerr, H, M (Eds.), *Beyond constructivism: Models and modeling perspective in mathematics problem solving, learning, and teaching* (pp. 3-33). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Lesh, R., & Doerr, H. (2012). Symbolizing, communicating, and mathematizing: Key components of models and modeling. In P. Cobb, E. Yackel, K. McClain (Eds.), *Symbolizing and communicating in mathematics classroom: Perspectives on discourse, tools, and instructional design* (pp. 361-384). Routledge.

Lesh, R., & English, L. D. (2010). A modeling perspective on students′ mathematical reasoning about data. *Journal for Research in Mathematics Education, 34*(2), 110-136.

Lev, M., & Leikin, R. (2017). The interplay between excellence in school mathematics and general giftedness: Focusing on mathematical creativity. In R. Leikin, & B. Sriraman (Eds.), *Creativity and giftedness* (pp. 225-238). Switzerland: Springer.

Levenson, E. (2011). Exploring collective mathematical creativity in elementary school. *Journal of Creative Behavior, 45*(3), 215-234.

Littleton, K., Rojas-Drummond, S., & Meill, D. (2008). Introduction to the special issue: ‘Collaborative creativity: Socio-cultural perspectives'. *Thinking Skills and Creativity, 3*, 175-176.

Lozano, M. (2017). Investigating task design, classroom culture and mathematics learning: An enactivist approach. *ZDM, 49*(6), 895-907.

Ludwig, M., & Xu, B. (2010). A comparative study of modelling competencies among Chinese and German students. *Journal für Mathematik-Didaktik, 31*(1), 77-97.

Luria, S. R., Sriraman, B., & Kaufaman, J. C. (2017). Enhancing equity in the classroom by teaching for mathematical creativity. *ZDM, 49*, 1033-1039.

Maaβ, K. (2006). What are modelling competencies? *ZDM, 38*(2), 113-142.

Maaβ, K. (2010). Classification scheme for modelling tasks. *Journal für Mathematik-Didakti, 31*(2), 285-311.

Mann, E. L., Chamberlin, S. A., & Graefe, A. K. (2017). The prominence of affect in creativity: Expanding the conception of creativity in mathematical problem solving. In R. Leikin, & B. Sriraman (Eds.), *Creativity and giftedness: Interdisciplinary perspectives from mathematics beyond* (pp. 57-73). Switzerland: Springer.

Mercer, N. (1995). *The guided construction of knowledge talk amongst teachers and learners.* Neil Mercer. [Electronic Resource].

Merriam, S. B. (2010). **정성연구방법론과 사례연구**. (강윤수, 고상숙, 권오남, 류희찬, 박만구, 방정숙, 이중권, 정인철, 황우형 역), 서울: 교우사. (원저 1998년 출판).

Middleton, J. A., Lesh, R., & Heger, M. (2003). Interest, identity, and social functioning: Central features of modeling activity. In R. Lesh, & H. M. Doerr (Eds.), *Beyond constructivism: models* *and modeling perspective in mathematics problem solving, learning, and teaching* (pp. 405-431). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Milliken, F. J., Bartel, C. A., & Kurtzberg, T. R. (2003). Diversity and creativity in work group: A dynamic perspective on the affective and cognitive processes that link diversity and performance. In P. B. Paulus, & B. A. Nijstad (Eds.), *Group creativity: Innovation through collaboration* (pp. 32-62). New York: Oxford University Press.

Mousoulides, N., Christou, C., & Sriraman, B. (2008). A modeling perspective on the teaching and learning of mathematical problem solving. *Mathematical Thinking and Learning, 10*, 293-304.

Mousoulides, N., Sriraman, B., & Christou, C. (2007). From problem solving to modelling: A meta-analysis. *Education, 12*(1), 23-47.

Nadjafikhah, M., Yaftian, N., & Bakhshalizadeh, S. (2012). Mathematical creativity: Some definitions and characteristics. *Procedia-Social and Behavioral Science, 31*, 285-291.

National Council of Teachers of Mathematics (NCTM). (2000). *Principles and standards for school mathematics*. Reston, VA: NCTM.

Nemeth, C. J., Brown, K. S., & Rogers, J. (2001). Devil's advocate versus authentic dissent: Stimulating quantity and quality. *European Journal of Social Psychology, 31*, 707-720.

Nemeth, C. J., & Nemeth-Brown, (2003). Better than individual? The potential benefit of dissent and diversity for group creativity. In P. B. Paulus, & B. A. Nijstad (Eds.). *Group creativity: Innovation through collaboration* (pp. 63-84). New York:

Oxford University Press.

Nemeth, C. J.. Personnaz, B., Personnaz, M., & Goncalo, J. A. (2004). The liberating role of conflict in group creativity: A study in two countries. *European Journal of Social Psychology, 34*, 365-374.

Nijstad, B. A., Diehl, M., & Stroebe, W. (2003). Cognitive stimulation and interference in idea-generating groups. In P. B. Paulus, & B. A. Nijstad (Eds.), *Group creativity: Innovation through collaboration* (pp. 137-159). Oxford University Press.

Nijstad, B. A., & Paulus, P. B. (2003). Group creativity: Common themes and future directions. In P. B. Paulus (Ed.), *Group creativity: Innovation through collaboration* (pp. 326-346). New York: Oxford University Press.

Niss, M. (2003). Mathematical competencies and the learning of mathematics: The Danish KOM project. In A. Gagatsis, & S. Papastavridis, (Eds.), *The 3rd Mediterranean conference on mathematical education* (pp. 115-124). Athens: Hellenic Mathematical Society.

Núñez-Oveido, M. C., Clement, J., & Rea-Ramirez, M. A. (2008). Developing complex mental modes in biology through model evolution. In J. J. Clement, & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model based learning and instruction in science* (pp. 173-193). Netherlands: Springer.

O'Loughlin, M. (1992). Rethinking science education: Beyond Piagetian constructivism toward a sociocultural model of teaching and learning. *Journal of Research in Science Teaching, 29*(8), 791-820.

Pakeltienė, R., & Ragauskaitė, A. (2017). Creative synergy as a potential factor for the development of social innovations.

Research for Rural Development, 2, 174-181.

Palsdottir, G., & Sriraman, B. (2017). Teacher's views on modeling as a creative mathematical activity. In R. Leikin, & B. Sriraman (Eds.), *Creativity and giftedness* (pp. 47-55). Switzerland: Springer.

Paulus, P. B. (2000). Groups, teams, and creativity: The creative potential of idea-generating groups. *Applied Psychology: An International Review, 49*(2), 237-262.

Paulus, P. B. (2003). *Group creativity: Innovation through collaboration*. New York: Oxford University Press.

Paulus, P. B., & Brown, V. R. (2003). Enhancing ideatioanl creativity in Groups. In P. B. Paulus, & B. A. Nijstad (Eds.), *Group creativity: Innovation through collaboration* (pp. 110-136). New York: Oxford University Press.

Paulus, P. B., & Nijstad, B. A. (2003). Group creativiry. In P. B. Paulus, & B. A. Nijstad (Eds.), *Group creativity: Innovation through collaboration* (pp. 3-11). New York: Oxford University Press.

Paulus, P. B., & Yang, H. (2000). Idea generation in groups: A basis for creativity in organizations. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 82*(1), 76-87.

Pino-Fan, L. R., Godino, J. D., & Font, Vicenç (2018). Assessing key epistemic features of didactic-mathematical knowledge of prospective teachers: The case of the derivative. *Journal of Mathematics Teacher Education, 21*, 63-94.

Prusak, N., Hershkowitz, R., & Schwarz, B. B. (2012). From visual reasoning to logical necessity through argumentation design. *Educational Studies in Mathematics, 79*, 19-40.

Redmond, T., Sheehy, J., & Brown, R. (2013). Exploring the relationship between mathematical modelling and classroom discourse. In L. Sparrow, B. Kissane, & C. Hurst (Eds.), *Shaping the future of mathematics education: Proceedings of the 33rd annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia* (pp.345-492). Fremantle: MERGA.

Richards, R. (2014). 교실에서의 일상적 창의성: 일곱 가지 제안과 함께 하는 시간여행. R. A. Beghetto, & J. C. Kaufman 편저, **교실에서의 창의성 교육** (pp. 309-354) (이경화, 김명숙, 김정희, 김혜진, 박숙희, 성은현, 윤초희, 이명숙, 최병연, 태진미 역). 서울: 학지사. (원저 2010년 출판).

Rojas-Drummond, S. M., Albarrán, C. D., & Littleton, K. S. (2008). Collaboration, creativity and co-construction of oral and written texts. *Thinking Skills and Creativity, 3*, 177-191.

Sawyer, R. K. (2007). *Group genius: The creative power of collaboration*. Basic Books.

Sawyer, R. K. (2012). Group creativity. In R. K. Sawyer (Ed), *Explaining creativity: The science of human innovation account.* (pp. 231-248). New York : Oxford University Press.

Sawyer, R. K. (2014). 창의성 학습. R. A. Beghetto, & J. C. Kaufman 편저, **교실에서의 창의성 교육** (pp. 259-286) (이경화, 김명숙, 김정희, 김혜진, 박숙희, 성은현, 윤초희, 이명숙, 최병연, 태진미 역). 서울: 학지사. (원저 2010년 출판).

Schoenfeld, A. H. (2012). A highly interactive discourse structure. *Social Constructivist Teaching, 9*, 131-169.

Sfard, A. (1991). On the dual nature of mathematical conceptions: Reflections on processes and objects as different sides of the same coin. *Educational Studies in Mathematics, 22*(1), 1-36.

Sheffield, L. J. (2006). Developing mathematical promise and

creativity. *Research in Mathematics Education, 10*(1), 1-11.
Siau, K. L. (1995). Group creativity and technology. *Journal of Creative Behavior, 29*(3), 201-216.
Silver, E. A. (1997). Fostering creativity through instruction rich in mathematical problem solving and problem posing. *ZDM, 29*(3), 75-80.
Simon, M. A. (1995). Reconstructing mathematics pedagogy from a constructivist perspective. *Journal for Research in Mathematics Education, 26*(2), 114 - 145.
Simon, M., & Tzur, R. (2004). Explicating the role of mathematical tasks in conceptual learning: An elaboration of the hypothetical learning trajectory. *Mathematical Thinking and Learning, 6*(2), 91-104.
Singer, F. M., & Voica, C. (2017). When mathematics meets real objects: How does creativity interact with expertise in problem solving and posing?. In R. Leikin, & B. Sriraman (Eds.), *Creativity and giftedness* (pp. 75-103). Switzerland: Springer.
Sriraman, B. (2005). Are giftedness and creativity synonyms in mathematics?. *Journal of Secondary Gifted Education, 17*(1), 20-36.
Starko, A. J. (1995). *Creativity in the classroom.* New York: Longman.
Sternberg, R. J. (2017). School mathematics as a creative enterprise. *ZDM, 49*(7), 977-986
Sternberg, R. J., Grigorenko, E. L., & Singer, J. L. (2009). **창의성: 그 잠재력의 실현을 위하여** (임웅 역.), 서울: 학지사. (원저 2004년 출판)
Stillman, G. A., Blum, W., & Kaiser, G. (2017). Crossing boundaries

in mathematical modelling and applications educational research and practice: In G. A. Stillman, W. Blum, & G. Kaiser (Eds.), *Mathematical modelling and applications* (pp. 1-22). Cham: Springer.

Subtnki, R. F., Olszewski-Kubilius, P., & Worrell, F. C. (2011). Rethinking giftedness and gifted education: A proposed direction forward based on psychological science. *Psychological Science in the Public Interest, 12*(1), 3-54.

Suh, J. M., Matson, K., & Seshaiyer, P. (2017). Engaging elementary students in the creative process of mathematizing their world through mathematical modeling. *Education Sciences, 7*(2), 62.

Sullivan, P., Clarke, D., & Clarke, B. (2016). **수학수업 이야기: 수학, 과제, 학습의 삼중주** (이경화, 김동원 역.), 서울: 경문사. (원저 2013년 출판).

Sullivan, P., Mousley, J., & Zevenbergen, R. (2006). Teacher actions to maximize mathematics learning opportunities in heterogeneous classroom. *International Journal of Science and Mathematics Education, 4*(1), 117-143.

Swetz, F., & Hartzler, J. S. (1991). *Mathematical modeling in the secondary school curriculum.* Virginia: National Council of Teacers of Mathematics.

Tan, AG. & Sriraman, B. (2017). Convergence in creativity development for mathematical capacity. In R. Leikin, & B. Sriraman (Eds.), *Creativity and giftedness* (pp. 75-103). Switzerland: Springer.

Van Dooren, W., De Bock, D., & Verschaffel, L. (2013). How students connect descriptions of real-world situations to mathematical models in different representational modes. In G. A. Stillman, G. Kaiser, W. Blum, & J. P. Brown (Eds.), *Teaching* *mathematical modelling: Connecting to research and practice* (pp. 385-393). Dordrecht: Springer.

Verschaffel, L., Greer, B., & De Corte, E. (2002). Everyday knowledge and mathematical modeling of school word problems. In K. Gravemeijer, R. Lehrer, B. van Oers, & L. Verschaffel (Eds.), *Symbolizing, modeling and tool use in mathematics education* (pp. 257-276). Dordrecht: Springer.

Vorhölter, K. (2018). Conceptualization and measuring of metacognitive modelling competencies: Empirical verification of theoretical assumption. *ZDM, 50*(1-2), 343-354.

Vorhölter, K. (2019). Enhancing metacognitive group strategies for modelling. *ZDM, 1-14.*

Vorhölter, K., Krüger, A., & Wendt, L. (2017). Metacognitive modelling competencies in small groups. In T. Dooley, & G. Gueudet (Eds.), *Proceedings of the tenth congress of the european society for research in mathematics education.* Dublin, Ireland: DCU Institute of Education and ERME.

Woodman, R. W., Sawyer, J. E., & Griffin, R. W. (1993). Toward a theory of organizational creativity. *The Academy of Management Review, 18*(2), 293-321.

Zhou, C., & Luo, L. (2012). Group creativity in learning context: Understanding in a social-cultural framework and methodology. *Creative Education, 3*(4), 392-399.

Zhou, J. (2003). When the presence of creative coworkers is related to creativity: Role of supervisor close monitoring, developmental feedback, and creative personality. *Journal of Applied Psychology, 88*(3), 413-422.

<부록1> 학생들에게 제공된 집단 구성 및 역할분담을 위한 설문지

학교 : ______________ (　　)학년 이름 : ______________

Ⅰ. 소집단 활동 경험의 다양성

번호	귀하는 다음 의견에 대해 얼마나 동의하십니까?	있다.	없다.
1	수학 시간에 친구와 도움을 주고받으며 문제를 해결해 본 경험이 있다.		
2	수학 시간에 모둠 활동을 해본 경험이 있다.		

번호	귀하는 다음 의견에 대해 얼마나 동의하십니까?	전혀 동의 안 함	동의 안 함	보통	동의	매우 동의
3	모둠 활동을 할 때, 나는 내 생각을 자유롭게 말할 수 있다.					
4	모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람이 자유롭게 말할 수 있는 편안한 분위기를 만든다.					
5	모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람이 제시한 생각과 비슷한 생각을 떠올려 볼 수 있다.					
6	모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람이 제시한 의견에 흔들리지 않고 내 생각을 유지할 수 있다.					
7	모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람이 제시한 의견에 반대 의견을 제시할 수 있다					
8	모둠 활동을 할 때, 나는 다른 사람의 의견이 타당한지 점검할 수 있다.					

문항	다음 괄호 안의 내용 중 자신에게 해당하는 내용에 동그라미를 쳐주세요.
9	모둠 활동 중 문제풀이에 어려움이 발생한 경우, 어려움을 해결하기 위해 나는 주로 (같은 모둠에 속한 친구/ 선생님)의 의견을 듣는 편이다.
10	모둠 활동을 할 때, 나는 다른 구성원의 의견에 대해 주로 (비슷한 의견을 추가로 제시/ 반대의견을 제시/ 여러 의견을 평가 혹은 종합)하는 편이다.

Ⅱ. 수학 인지적 영역

번호	귀하는 다음 의견에 대해 얼마나 동의하십니까?	전혀 동의 안 함	동의 안 함	보통	동의	매우 동의
1	나는 실생활 문제가 주어졌을 때, 문제의 상황을 머릿속에 떠올려볼 수 있다.					
2	나는 문제해결에 필요한 정보와 그렇지 않은 정보를 구별할 수 있다.					
3	나는 문제를 간단하게 정리할 수 있다.					
4	나는 문제를 풀 때 필요한 정보 사이의 관계를 확인할 수 있다.					
5	나는 문제해결 과정에서 수학적 표현(식, 그래프, 표, 도형 등)을 이용할 수 있다.					
6	나는 학습한 수학 내용을 이용해서 실생활 문제를 풀 수 있다.					
7	나는 실생활 문제해결의 결과를 실제로 실생활에 적용할 수 있다.					
8	나는 문제를 푼 과정이 올바른지 다시 살펴볼 수 있다.					
9	나는 문제풀이 과정이나 답이 옳지 않다고 생각되면, 풀이과정을 살펴보면서 잘못된 곳을 찾을 수 있다.					
10	나는 문제를 풀기 전에, 풀이의 전체 과정을 먼저 떠올려 볼 수 있다.					
11	나는 문제를 푸는 중간중간에 그때까지의 풀이가 올바른지 다시 살펴볼 수 있다.					
12	나는 다른 방식으로 문제를 해결한 친구의 풀이와 나의 풀이 중 어떤 것이 더 효과적인 풀이인지 비교할 수 있다.					
13	나는 친구들과 함께 문제풀이를 시작하면서, 전체 과정을 친구들과 함께 떠올려 볼 수 있다.					
14	나는 친구들과 함께 문제를 풀면서 풀이과정을 함께 살펴볼 수 있다.					
15	나는 친구들과 함께 선택한 최종 풀이 외에 다른 풀이에 대해 서로 이야기할 수 있다.					
16	나는 문제풀이과정을 친구에게 설명할 수 있다.					
17	나는 수학적 표현(식, 그래프, 표, 도형 등)을 이용해서 문제해결과정을 친구에게 설명할 수 있다.					

<부록2> 학생들에게 제공된 수학적 모델링 과제와 활동지

학생용 활동지1 [최고의 과자 찾기] 어떤 과자를 추천할까?

(   )학교   (   )학년 (   )반   이름 (   )

※ 모둠 친구들과 함께 아래의 상황을 해결해 봅시다. 각 문항은 모두 **모둠활동으로 수행**합니다.

이번 겨울에 혼자 미국으로 여행을 간 예진이는 호스텔에서 미국 친구 Yeony를 만났습니다. 얘기를 나누고 친해진 후 알고 보니, Yeony는 과자를 리뷰하여 영상을 올리는 유명 유튜버였습니다. 여행을 마치고 돌아온 예진이는 Yeony로부터 이메일 한 통을 받았습니다. '…한국의 과자에 대해 소개하는 영상을 유튜브에 올리고 싶은데, 과자 2개만 추천해 주면 좋겠어. 내가 과자를 리뷰하는 기준은 아래의 세 가지인데, 이 기준에 맞게 네가 추천해주면 너무 좋을 것 같아. 유튜브에 올라가는 영상인 만큼 확실한 근거가 있으면 좋겠고. …' **기준 1. 살이 많이 찌는 간식은 피한다.** **기준 2. 건강을 위해 유해성분을 확인하는 편이다.** **기준 3. 양에 비해 너무 비싼 과자는 좋아하지 않는다.** 이메일을 본 예진이는 여러분에게 Yeony에게 추천할 과자를 함께 찾아달라고 하였습니다. 주어진 5개의 과자에 적힌 정보를 위 기준에 맞추어 분석한 뒤, 우리나라 최고의 과자 2개를 추천하는 편지를 타당한 이유와 함께 작성해봅시다.

45) 활동지1은 실제로 한 페이지로 제공되었다.

1. 어떠한 상황인가요? 문제가 되는 상황은 무엇인지, 머릿속에 떠오르는 상황을 모둠 친구들과 함께 이야기해 봅시다.

2. 각 기준에 맞는 과제를 선택하기 위해 어떠한 정보가 필요한지 모둠 친구들과 함께 이야기해 봅시다. 가능한 많은 정보를 제시합니다.

기준 1에 맞는 과제를 선택하기 위해 필요한 정보
기준 2에 맞는 과제를 선택하기 위해 필요한 정보
기준 3에 맞는 과제를 선택하기 위해 필요한 정보

학생용 활동지2 [최고의 과자 찾기] 어떤 과자를 추천할까?

(   )학교   (   )학년 (   )반   이름 (   )

3. 2번에서 필요하다고 생각한 정보를 모든 과자에 대해서 모둠 친구들과 함께 구해봅시다. 구한 정보를 식, 그래프, 표 등 다양한 수학 표현을 이용하여 제시하고, 해당 표현을 사용한 이유를 말해봅시다. 해당 표현을 사용한 이유가 타당한지 이야기 나누어보고, 타당하지 않다고 생각되면 타당하지 않은 이유를 제시합니다. 그리고 더 타당하다고 생각되는 새로운 표현을 제시합니다. 예를 들어, Yeony의 기준1에 맞는 과자를 선택하는데 필요한 정보가 열량이라고 생각한다면, '필요한 정보 : (열량)'을 기재하고 모든 과자의 열량을 수집한 뒤 수집한 값들을 표나 그래프, 식으로 표현합니다.

(1) 필요한 정보 : (   )

수학 표현을 이용한 정보 제시 :

해당 표현을 사용한 이유 :

해당 표현을 사용한 이유 평가 :

(2) 필요한 정보 : (   )

수학 표현을 이용한 정보 제시 :

해당 표현을 사용한 이유 :

해당 표현을 사용한 이유 평가 :

(3) 필요한 정보 : (   )

수학 표현을 이용한 정보 제시 :   해당 표현을 사용한 이유 : 해당 표현을 사용한 이유 평가 :

(4) 필요한 정보 : (   )

수학 표현을 이용한 정보 제시 :   해당 표현을 사용한 이유 : 해당 표현을 사용한 이유 평가 :

(5) 필요한 정보 : (   )

수학 표현을 이용한 정보 제시 :   해당 표현을 사용한 이유 : 해당 표현을 사용한 이유 평가 :

학생용 활동지3 [최고의 과자 찾기] 어떤 과자를 추천할까?

(　　　　　　　　　)학교　(　　　)학년 (　　)반　이름 (　　　　　　　　)

4. 3번 문항에서 '필요한 정보'로 제시한 열량, 나트륨과 같은 정보들을 가장 중요한 순으로 3가지 선정하고, 그 이유를 제시합니다. 제시된 이유가 타당한지 이야기 나누어 봅시다.

가장 중요한 정보 :

두 번째로 중요한 정보 :

세 번째로 중요한 정보 :

위와 같은 중요도 선정의 기준(이유) :

기준(이유)의 타당성 :

5. 4번에서 선정한 중요도에 따라, 3번의 답에 제시된 과자별 정보를 다시 살펴봅시다. 각 중요도에 따른 과자 랭킹을 정합니다.

가장 중요한 정보 (　　　　　　)에 따른 과자 랭킹

두 번째로 중요한 정보 (　　　　　　)에 따른 과자 랭킹

세 번째로 중요한 정보 (　　　　　　)에 따른 과자 랭킹

학생용 활동지4 [최고의 과자 찾기] 어떤 과자를 추천할까?

(   )학교 (   )학년 (   )반   이름 (   )

6. 5번의 답에 제시된 과자들의 랭킹은 서로 같은가요, 다른가요? 만약 랭킹이 서로 다르다면, 최고의 과자를 어떻게 선정할 수 있을까요? 서로 다른 랭킹들을 종합적으로 이용하여 최고의 과자 2개를 선택할 수 있는 방법을 3가지 생각해 봅시다.

랭킹 종합하는 방법 1 : (   ) 방법 1을 선택한 이유 : 방법 1을 따를 때 선정된 과자 :
랭킹 종합하는 방법 2 : (   ) 방법 2를 선택한 이유 : 방법 2를 따를 때 선정된 과자 :
랭킹 종합하는 방법 3 : (   ) 방법 3을 선택한 이유 : 방법 3을 따를 때 선정된 과자 :

7. 6번에서 살펴본 3가지 방법 중 가장 적절한 방법을 선택하고, 다른 방법에 비해 더 적절하다고 생각한 이유를 말해봅시다.

학생용
활동지5

[최고의 과자 찾기] 어떤 과자를 추천할까?

(   )학교　(   )학년 (   )반　이름 (   )

8. 지금까지의 분석결과를 이용하여 Yeony에게 최고의 과자 2개를 추천하는 편지를 작성하려고 합니다. 아래에 편지 내용을 대략적으로 스케치해 보고, 편지지에 편지를 작성합니다.

Abstract

Group Creativity Education through Mathematical Modeling

Jung Hye Yun
Department of Mathematics Education
The Graduate School
Seoul National University

Despite the importance of sociocultural perspectives on mathematical modeling activities and creativity, this field of study has remained largely unexplored. Although group composition and interactions within a group are emphasized for mathematical modeling activities, the educational effect of mathematical modeling has focused on individuals. Creativity education through mathematical modeling has also focused on individual creativity.

The purpose of this study was: first, to identify the meanings and the characteristics of creativity and mathematical modeling from a sociocultural perspective; and second, to design mathematical modeling classes for group creativity education. The developmental research was used as a research method, and the lesson was designed and executed in three phases; namely, preliminary design, teaching experiment, and retrospective analysis.

In the preliminary design phase, a model for the developmental

process of group creativity was presented through analysis of previous research on group creativity and mathematical modeling. The characteristics of mathematical modeling were confirmed as a method for group creativity education. The instructional design principles of mathematical modeling for group creativity education were derived relating to students and teachers, tasks and activities, and class environment. The lesson was designed on the basis of these principles; we revised the lesson based on the expert evaluation. The designed lessons included mathematical modeling tasks and worksheets, questionnaires for group composition and role play, lesson plan for teachers, and teaching and learning process plan for the teacher's guidance.

In the teaching experiment phase, the classes designed in the previous stage, were conducted. The experiment was divided into an initial teaching experiment and a later teaching experiment. The classes were repeatedly modified in the initial teaching experiment. A revised class was thus implemented in the later teaching experiment, and the group creativity during the mathematical modeling activity was observed. In addition, we found different types of interaction and creative synergies in the stages of mathematical modeling process. Cases that extended group creativity was developed were compared to those that was not. This helped analyze the causes and confirm the instructional design for group creativity education. Complementary, conflict-based, metacognitive interactions were observed in the group developing extended group creativity. We found that appropriate teacher's guidance led to a good performance in interactions and role play by the group members. This was not the case with the groups lacking extended group creativity, particularly metacognitive interaction was not observed.

In the retrospective analysis phase, the instructional design principle of mathematical modeling for group creativity derived from the preliminary design stage was elaborated and modified. Some of the principles were modified and added while repeatedly executing and modifying classes. Finally, a total of seven principles were drawn from the perspective of students and teachers, tasks and activities, and the classroom environment.

Through this study, the instructional design principles of mathematical modeling for group creativity education were presented and the group creativity developed in course of mathematical modeling activities was identified. To conclude, this study showed the evolution of group thinking in mathematical modeling activities through group composition, and extended the education effect of mathematical modeling activities to group creativity education.

keywords : mathematical modeling, group creativity, interaction, creative synergy, instructional design

Student Number **: 2016-33090**